

目 次

◆原著論文

- 異なる斜度の下り坂走が平地走に与える即時的な影響…………… 1
中山滉一, 榎 将太, 牧野瑞輝, 庄司一真, 眞鍋芳明
- 男子やり投げ競技者における前および鉛直方向のやり速度に対するキネマティクスの貢献…………… 13
牧野瑞輝, 田内健二

◆研究資料

- 箱根駅伝出走ランナーと非出走ランナーのエネルギー代謝能力の比較…………… 23
丹治史弥, 西出仁明, 栗原 俊, 両角 速, 宮崎誠司

◆事例報告

- MCT-jump test で評価されるパワー発揮特性のトレーナビリティ
ー男子大学生短距離走競技者を対象とした事例的検討ー…………… 33
長谷川貴大, 木野村嘉則, 眞鍋芳明, 木越清信, 渡辺輝也
- 国内女子一流やり投げ競技者における投てき動作の縦断的变化…………… 45
瀧川寛子, 田内健二
- 東京 2020 オリンピックのマラソン, 競歩における環境条件とパフォーマンスの検討 …… 51
橋本 峻, 岡崎和伸, 河村亜希, 杉田正明
- 保存療法が奏効した肘内側側副靱帯損傷やり投げ競技者の 3 例…………… 59
武井隼児, 小川 健, 芋生祥之, 万本健生, 平野 篤

◆Round-up

- 陸上競技における競技エリアの救護活動の展望…………… 69
廣重陽介, 加藤 基

◆日本陸上競技学会第 21 回大会

- 基調講演…………… 77
小林寛道
- 基調講演…………… 88
阿江通良

傍聴記（大会 1 日目）	98
庄司一眞	
傍聴記（大会 2 日目）	101
中澤 翔	
◆日本陸上競技学会会則	110
◆陸上競技学会誌 投稿規程	111
◆陸上競技学会誌 執筆要項	112
◆日本陸上競技学会 学会賞・優秀発表賞規程	115

異なる斜度の下り坂走が平地走に与える 即時的な影響

中山 滉一¹⁾, 榎 将太²⁾, 牧野瑞輝¹⁾, 庄司一真¹⁾, 眞鍋芳明²⁾

Acute effects of downhill sprinting at different slopes on sprint performance

Koichi NAKAYAMA¹⁾, Shota ENOKI²⁾, Mizuki MAKINO¹⁾, Kazuma SHOJI¹⁾, Yoshiaki MANABE²⁾

Abstract

The purpose of this study was to examine the acute effects of downhill sprint training at different angle of slopes on level sprinting. The subjects are 23 track and field male collegiate athletes (age:19.5±1.1years, height:1.74±0.01m, weight:65.6±5.5kg, track and field career:8.5±2.1years, personal best record for 100m: 11.40±0.46s). Participants were pre-timed for a 60m sprint and divided into three groups (0°, 3°, 5°) with similar performance levels. In the experiment, after the specified warm-up, measurements were taken in the following order: Pre (60m level ground sprint), 10min rest, Intervention (Five 60m sprints in each group, 3-5 min rest), and Post (60m level ground sprint). Pre- and Post-measurements were taken on an indoor running track, and the movements in the 40m to 50m section were recorded using a high-speed camera (240Hz). Kinematics data were calculated from the obtained images using biomechanical methods and compared between Pre and Post. The results showed no significant differences in sprint velocity, step frequency, or step length between all groups, and trials. However, Post was significantly higher than Pre in the support time of the 5° group (pre: 0.107s, Post:0.117s). Post was significantly lower than Pre at 41% to 44% normalized time of knee joint angular velocity in the support phase of the 5° group. Furthermore, in the normalized time of appearing the angular velocity of the knee extension, the Post was significantly higher than the Pre in the 5° group. These results indicate that the timing of flexion to extension of the knee joint during the support phase was delayed and the support time increased when the runners performed a 5° downhill sprint followed by a level sprint. These results suggest that the acute effects of different slopes on level sprint differ between the 3° and 5° downhill sprint.

キーワード：アシステッド・トレーニング, 坂, スプリント, 最大速度, PAP

1. 緒言

疾走能力は競技パフォーマンスを左右する要因のひとつとされ、陸上競技および球技スポーツなどにおいても重要とされている (Faude et al., 2012; Rumpf et al., 2016). これまでの疾走能力に関する研究では、スター

トから 30m の間に急激に速度を高める“加速能力”と 40m~70m の間で最大速度をより高める“最大速度能力”に大別されてきた (Maćkala, 2007; Majumdar and Robergs, 2011; 羽田ほか, 2003). 陸上競技短距離走においては、最大速度が競技パフォーマンスを決定する主要な要因とされていることから (Maćkala, 2007; 松尾ほか, 2014), 最大速度を向上させる要因を明らかにし、その能力を向上させる方法を検討することは重要な課題であると考えられる。

そこで競技者やコーチ、研究者は最大速度能力を向上させるためにスレッド走や下り坂走などの機器や自然環境を利用したレジステッドまたはアシステッド・トレーニングなどの方法を開発し、その有効性を検討してきた (Haugen et al., 2019; Rumpf et al., 2016). 最近の研究では、これらのトレーニングを実施後に一時的に運動パフォーマンスが向上する筋活動後増強 (Post-activation potentiation:以降 PAP) という現象が検証されている (Nealer et al., 2017; Winwood et al., 2016). PAP は、ジャンプやスプリントの事前に強い筋収縮を行うスクワットやスレッド走などの運動を行うと、その後の同一の筋群を要する運動パフォーマンスが一時的に増強する現象である (Seitz and Haff., 2016). この一時的に力発揮が増強されるメカニズムは、ミオシンの制御性軽鎖のリン酸化反応と運動単位の動員によるものと考えられている (Hodgson et al., 2005; Sale, 2002). すなわち、あらかじめ行われた強い筋収縮によってクロスブリッジ形成時におけるアクチンとミオシンのカルシウムイオン (Ca^{++}) に対する感受性が亢進され、大きな力を発揮できることや運動ニューロンの興奮性が高まることで運動単位の活性化や同期化が進み、パフォーマンスを向上させるとし

1) 中京大学大学院スポーツ科学研究科 Graduate School of Health and Sport Sciences of Chukyo University

〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101 中京大学豊田キャンパス

2) 中京大学スポーツ科学部 School of Health and Sport Sciences of Chukyo University

〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101 中京大学豊田キャンパス

ている (Chiu et al., 2003; Maloney et al., 2014; Sale, 2002).

これまでの PAP 研究では、対象者のトレーニング歴、パフォーマンスレベルの違い、トレーニングの種類、休息時間、運動強度によって PAP の反応が異なることが報告され、必ずしも一貫した見解がない (Comyns et al., 2007; Maloney et al., 2014; Winwood et al., 2016; Wilson et al., 2013). スプリントを対象とした PAP 研究には、スレッド走やスクワットなどを用いた“重量”を強度設定としたレジステッド・トレーニングとゴムチューブなどを利用したジャンプや牽引走などの“速度”を強度設定にしたアシステッド・トレーニングがある。アシステッド・トレーニングにおける PAP 研究では、ゴムチューブを用いた垂直跳び後の跳躍では、跳躍高に有意な差異は認められないものの、離地速度および相対的なピークパワーを増大させたことが報告されている (Cazas et al., 2013). また、ゴムチューブを用いた牽引走後の疾走では、スタートから 5m までの区間タイムを減少させたことが報告している (Nealer et al., 2017). このようにアシステッド・トレーニングは、アシストによって超最大速度を体感することで運動ニューロンの興奮性と運動単位の同期を高め、パフォーマンスを向上させることが示唆されている (Argus et al., 2011; Cook et al., 2013; Tran et al., 2011). しかし、アシステッド・トレーニングにおける PAP を検証したものは数少ない。

疾走に着目したアシステッド・トレーニングでは走者を牽引したり、斜面や風などを利用する方法がある。これらは、走者の加速局面から最大速度局面にかけてアシストし、より高い加速度や超最大速度を体感させることで、疾走能力を高めるとされている (Hicks, 2017). なかでも簡便な方法として、特別なトレーニング機器を必要とせず、自然環境を利用した下り坂走が挙げられる。これまでの下り坂走に関する研究では、平地走と下り坂走の動作を比較した特徴として、下り坂走における接地時の左右大腿のなす角度が小さく、ストライドおよび疾走速度が高いことを報告している (Paradisis and Cooke, 2001). また、3°の下り坂走を 6 週間実施させたトレーニング効果を検証した実験では、トレーニング期間後の平地走においてピッチおよび疾走速度が増大したことを報告している (Paradisis and Cooke, 2006). 異なる斜度の複数の下り坂走を比較した研究では、0°から 5.8°にかけて、斜度の増大に伴い 40yd 走のタイムが短縮したことを報告している (Ebben et al., 2008). また、6.9°の下り坂では 0°との間にタイムの差は認められなかった。これを Ebben et al. (2008) は、超最大速度による心理的恐怖や疾走姿勢の維持が制御できず、転倒を防止するために速度を低下させた可能性を述べている。このように下り坂走は、最大速度能力を向上させるトレーニングとして有効な手段であることが考えられるものの、斜度によって期待される効果が異なることが考えられる。し

かし、異なる斜度間の PAP を検証したものはない。

異なる斜度の下り坂走における PAP を検証することは、アシステッド・トレーニングにおける PAP の知見を増やし、下り坂走の斜度に応じたトレーニング方法の考案に有用な知見を提示することが考えられる。そこで、本研究の目的は異なる斜度の下り坂走がその後の平地走に与える即時的な影響 (PAP) を明らかにすることとした。斜度の増大に伴い疾走速度が高まることで、神経支配比の大きな運動単位が動員されることが考えられ、運動単位の活性化と同期化が進むのならば、ストライドおよびピッチを高め、疾走速度を高めることが考えられる。したがって、本研究の仮説は斜度の増大に伴い、下り坂走後の疾走ではピッチおよびストライドが増大するとした。

2. 方 法

2. 1 対象者

対象者は大学陸上競技部に所属する男子学生 23 名 (年齢: 19.5 ± 1.1 歳, 身長: 1.74 ± 0.01 m, 体重: 65.6 ± 5.5 kg, 陸上競技歴: 8.5 ± 2.1 年, 100m 走の自己最高記録: 11.40 ± 0.46 s) であり、日常的にスプリント・トレーニングを行なっている者とした。対象者は、下り坂走の実施経験はあるものの実験期間までに、計画的または継続的な下り坂走は実施していなかった。本研究は中京大学の倫理審査委員会の承認を得た上で実施した (承認 No.2021-37)。対象者には中京大学「人を対象とする研究に関する倫理指針」に基づき、事前に本研究の目的、実施方法、および安全性について十分に説明を行い、書面にて参加への同意を得た。

2. 2 実験デザイン

異なる斜度の下り坂走が平地走に与える即時的な影響を明らかにするため、3 つの群 (0°群, 3°群, 5°群) を設定し、介入前の平地走 (Pre) と介入後の平地走 (Post) の疾走速度に関連するキネマティクスを比較することで、トレーニングの即時的な影響 (PAP) を検討した。対象者は事前に 60m 走の通過タイムを計測し、得られた結果に基づいて各群の身長・体重・年齢・パフォーマンスレベルに統計学的に差がないように振り分けた (Table 1: 0°群 $n=8$, 3°群 $n=7$, 5°群 $n=8$)。

Fig. 1 に実験試技の手順を示す。初めに全ての対象者に、Nealer et al. (2017) を参考に作成したウォームアップ (ジョギング: 800m, ダイナミックエクササイズ: A-skips, High knees, Butt kickers, Lunges, carioca, backwards running, 20m を各 2 回, 60m 走: 主観的努力度が 75% と 95% を各 1 回) を行わせた。次に十分な休息の後に、Pre (60m 走を 2 回, 試技間の休息は 5 分), 10 分間の休息, 各群の介入 (60 走を 5 回, 試技間の休息は 3-5 分), 10 分間の休息, Post (60m を 2 回, 試技

Table 1 対象者の基本情報と事前測定の実験試技のタイム (Mean $\pm$ SD)

Group (total n=23)	Height [m]	Body Weight [kg]	Age [year]	Track & Field Career [year]	Personal best record in 100m [s]	60m time [s]
0° (n=8)	1.73 $\pm$ 0.06	66.7 $\pm$ 6.0	19.5 $\pm$ 1.5	8.3 $\pm$ 2.0	11.43 $\pm$ 0.47	7.44 $\pm$ 0.24
3° (n=7)	1.74 $\pm$ 0.05	63.9 $\pm$ 4.3	19.7 $\pm$ 1.0	8.3 $\pm$ 2.6	11.43 $\pm$ 0.51	7.42 $\pm$ 0.15
5° (n=8)	1.76 $\pm$ 0.05	66.2 $\pm$ 5.7	19.4 $\pm$ 0.9	9.0 $\pm$ 1.7	11.35 $\pm$ 0.39	7.46 $\pm$ 0.16
<i>F</i>	0.49	0.51	0.14	0.27	0.08	0.08
<i>p</i> value	0.62	0.61	0.87	0.76	0.92	0.92

No significant difference

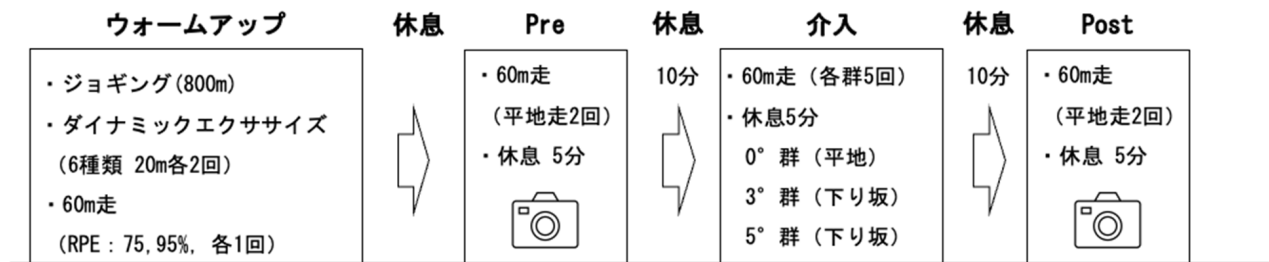


Figure 1 実験試技の手順

間の休息は5分)の順で実施した。介入時には検者が同行し、全力疾走の指示と休息時間を管理した。スタート方法は、片足を正面に出して体幹部を前傾させ、片手を地面に着いた3点で支持した状態のスタンディングスタートとした。また、シューズは対象者が普段の練習時から使用しているランニングシューズを装着させた。

下り坂走の介入群の斜度は、6週間の下り坂走トレーニングによって疾走速度を増大させた“3°”と複数の斜度の下り坂走のタイムを比較した中で最もタイムが速い“5°”の2群とした(Ebben et al., 2008; Paradisis and Cooke, 2006)。なお、6°以上の斜度は対象者の安全性を確保するために、選定から除外した。3°および5°の斜度は、Ebben et al. (2008)の方法を基にデジタル勾配測定機(デジタルアングルメータII, シンワ測定社製)を長さ1m、幅0.1mの板の中央に取り付けて測定した。下り坂の選定には、走行する路面の凹凸が少なく斜度が一定かつ走行距離60mの斜面を採用した。測定は、スタート地点の0mから60m地点まで10m毎に5回ずつ斜度を測定した。合計7地点の5回の斜度の平均値と標準偏差を算出し、平均斜度が介入群の斜度と0.3°以内の差、かつ斜度の標準偏差が0.3°以内の条件を満たす坂を均一な斜面とみなし、採用した。採用した各群の斜度は、3°群: 2.7 $\pm$ 0.1°, 5°群: 5.1 $\pm$ 0.3°であった。また、採用した坂の路面は整備されたアスファルトであった。なお、0°群の介入試技およびPre, Postの測定は日本陸上競技連盟公認施設に認定された屋内走路にて、風の影響がない環境で実施した。

2. 3 データ収集およびデータ処理

事前測定およびPre, Postにおける通過タイムを計測するために、光電管(TCi Timing System, Brower社製)を用いた。光電管は、スタート地点からゴール地点の60mの間までに10m毎に設置し、各区間の通過タイムを得た。事前測定では60m走を2回計測し、その平均値を対象者の代表値とし、群の振り分けに使用した。また、PreおよびPostでは各対象者の60mの通過タイムが最も短い試技を解析に使用した。疾走速度に関連する変数を算出するために、ハイスピードカメラ(LJ25B, JVC社製)を用いて40m-50m区間の動作をサンプリング周波数240Hzで撮影した。カメラはスタート地点から45m、走路から右側方12m地点に設置した。試技の撮影に先立ち、スタート地点から疾走方向に沿って5つの地点(41m, 43m, 45m, 47m, 49m)に高さ2m(マーク間隔0.4m)の棒を立ててキャリブレーションをした。絶対座標系は疾走方向をX軸、鉛直方向をY軸とした。

カメラから得られた映像データをPCに取り込み、デジタイズソフト(Frame DIAS V, Q'sfix社製)を用いて、身体分析点6点(胸骨上縁, 右大転子, 右膝関節中心, 右足関節中心, 左右のつま先)をデジタイズし、2次元DLT法によって実座標を得た。身体分析点にはテープを着け、デジタイズの目印とした。本研究は動作解析に精通した研究者が行い、デジタイズ後に別の研究者とデジタイズの位置を確認した。解析区間は、右足接地から次の右足接地までの1サイクルとし、その前後20フレームをデジタイズした。また、得られた座標データは残差分析により決定した最適遮断周波数(11.8-27.1Hz)のバ

ターワース型ローパスフィルターによって平滑化した (Winter, 2009)。

2. 4 局面定義および算出項目

データの解析に MATLAB R2021a (Math-Works inc., Natickss 社製) を使用した。座標データより、足が地面に接触した瞬間を“接地”，足が地面から離れた瞬間を“離地”と定義した。これらは、2名の研究者の目視にてフレームを識別し、合意の元に該当フレームを特定した。また、接地から離地までを“支持期”，離地から次足の接地までを“滞空期”，離地から同足の接地までを“遊脚期”とした。疾走速度を構成するステップパラメータおよび関節角度、角速度は下記のように定義、算出した

- ・ストライド [m]：接地から次足の接地までの大転子の水平移動距離
- ・ピッチ [Hz]：1/（支持時間 + 滞空時間）
- ・疾走速度 [m/s]：ストライドとピッチの積
- ・支持時間 [m]：支持期の経過時間
- ・滞空時間 [m]：滞空期の経過時間
- ・股関節角度および角速度 [deg, deg/s]：大転子と胸骨上縁を結ぶ線分と大転子と膝関節中心を結ぶ線分のなす角度と角速度
- ・膝関節角度および角速度 [deg, deg/s]：膝関節中心と大転子を結ぶ線分と膝関節中心と足関節中心を結ぶ線分のなす角度と角速度
- ・足関節角度および角速度 [deg, deg/s]：足関節中心と膝関節中心を結ぶ線分と足関節中心とつま先を結ぶ線分のなす角度と角速度

2. 5 統計解析

統計解析には解析ソフト SPSS. ver. 26.0 (SPSS Inc., Chicago) を使用し、算出項目を平均値±標準偏差で示した。各群の基本情報および事前測定の違いを確認するために対応のない一要因分散分析を用いた。各群と Pre-Post の 60m 走の区間タイム、疾走速度に関する変数（疾走速度、ストライド、ピッチ、支持時間、滞空時間）の差を検討するために、二要因分散分析（混合計画：群×Pre-Post）を用いた。なお、混合計画において各群の n 数（0° 群 n=8, 3° 群 n=7, 5° 群 n=8）が不揃いであるため、調和平均（7.64）を算出して統計解析を行った。主効果と交互作用が認められた場合には、事後検定に Bonferroni の多重比較検定を行った。被験者内（Pre-Post）の効果の大きさを検討するために、Cohen's d の効果量（ES）を用いた。効果量は、些細な（<0.20）、小さい（0.20–0.49）、中程度（0.50–0.79）、大きい（≥ 0.80）と評価した (Cohen, 1992)。さらに、疾走速度に関する変数の変化要因を検討するために、被験者内（Pre-Post）の関節角度および角速度を支持期と遊脚期の時

間を 0% から 100% に正規化し、Statistical Parametric Mapping (SPM) 使用して one-dimensional paired *t* test を行い、SPM{*t*} 曲線を作成した (Colyer et al., 2018; Nagahara et al., 2020; Pataky, 2012) ランダム曲線の確率的挙動を記述し、データの滑らかさを考慮したランダムフィールド理論を用いて、臨界値 *t**（有意確率： $\alpha = 0.05$ ）を設定した。SPM{*t*} 曲線が臨界値 *t** を超えた場合、特定の区間に有意な差異があると判断した。全ての検定において、 $p \leq 0.05$ を有意とした。

3. 結果

Table 2 に各群の Pre-Post の 60m 走の区間タイムを示した。全ての区間において、主効果および交互作用は認められなかった。

Table 3 にステップパラメータを示した。支持時間において、有意な交互作用（Group × Pre-Post）が認められ、その後の検定では、5° 群において Pre (0.107 ± 0.006 s) よりも Post (0.117 ± 0.008 s) が有意に長かった (ES = 1.41)。滞空時間においては有意な主効果（Pre-Post）が認められ、すべての群の Pre と Post の間に有意差が認められた (ES = 0.00 (0°), 1.26 (3°), 0.47 (5°))。その他のパラメータにおいて、有意な主効果および交互作用は認められなかった。

Figure 2-5 に支持期と遊脚期の関節角度および角速度の平均値±標準偏差を示した。支持期の 5° 群の膝関節の角速度において、規格化時間 41% – 44% の間で Pre よりも Post が有意に低値を示した ($p = 0.026$)。その他の項目に有意差は認められなかった。

4. 考察

本研究では異なる斜度の下り坂走トレーニングが即時的に平地走に与える影響をトレーニング前後の 60m 走（Pre-Post）の運動学的変数から検証した。下り坂走における PAP を検証するにあたり、強度設定に用いた斜度（0°, 3°, 5° 群）を変化させ、それ以外の個人の特性、介入試技（ウォーミングアップ、試技の距離および回数、休息時間）を同一に定めた。その結果、40m から 50m 区間にて撮影された疾走において全ての群の滞空時間が Pre よりも Post が有意に低く、5° 群の支持時間が Pre よりも Post が有意に長かった (Table 3)。また、5° 群の支持期の膝関節角速度の規格化時間 41% から 44% の間で Pre よりも Post が有意に遅かった (Fig. 3)。しかし、60m 走の全区間タイムやその他の項目においては、有意差は認められなかった。これらの結果は、斜度の増大に伴い、ピッチとストライドが増大するという我々の仮説と異なった。

本研究では、斜度の増大に伴い下り坂走時の疾走速度が高まることで、下肢筋群の運動単位の活性化と同期化を進め、その後の平地走において疾走速度、ピッチおよ

Table 2 各群の60m走の区間タイム (Mean $\pm$ SD)

Group (total n=23)		10m [s]	20m [s]	30m [s]	40m [s]	50m [s]	60m [s]
0° (n=8)	Pre	1.88 $\pm$ 0.08	3.07 $\pm$ 0.11	4.18 $\pm$ 0.15	5.26 $\pm$ 0.18	6.33 $\pm$ 0.21	7.41 $\pm$ 0.26
	Post	1.87 $\pm$ 0.09	3.09 $\pm$ 0.11	4.21 $\pm$ 0.15	5.29 $\pm$ 0.18	6.37 $\pm$ 0.22	7.44 $\pm$ 0.25
	ES (<i>d</i>)	0.06	0.17	0.17	0.18	0.16	0.13
3° (n=7)	Pre	1.85 $\pm$ 0.14	3.06 $\pm$ 0.16	4.16 $\pm$ 0.18	5.24 $\pm$ 0.21	6.31 $\pm$ 0.23	7.39 $\pm$ 0.25
	Post	1.86 $\pm$ 0.12	3.07 $\pm$ 0.15	4.18 $\pm$ 0.18	5.26 $\pm$ 0.21	6.33 $\pm$ 0.24	7.41 $\pm$ 0.27
	ES (<i>d</i>)	0.11	0.07	0.12	0.08	0.08	0.08
5° (n=8)	Pre	1.87 $\pm$ 0.05	3.09 $\pm$ 0.06	4.20 $\pm$ 0.09	5.28 $\pm$ 0.10	6.35 $\pm$ 0.12	7.42 $\pm$ 0.13
	Post	1.88 $\pm$ 0.05	3.08 $\pm$ 0.08	4.19 $\pm$ 0.10	5.26 $\pm$ 0.11	6.33 $\pm$ 0.14	7.41 $\pm$ 0.16
	ES (<i>d</i>)	0.13	0.15	0.03	0.16	0.10	0.11
Main effect (Group)	<i>F</i>	0.07	0.07	0.07	0.03	0.03	0.02
	<i>p</i> value	0.933	0.930	0.937	0.966	0.968	0.976
	partial η^2	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Main effect (Pre-Post)	<i>F</i>	0.30	0.34	1.68	0.94	0.95	0.72
	<i>p</i> value	0.590	0.566	0.210	0.343	0.342	0.406
	partial η^2	0.01	0.02	0.08	0.05	0.05	0.03
Interaction Effect (Group $\times$ Pre-Post)	<i>F</i>	0.35	0.73	0.59	1.64	1.04	1.07
	<i>p</i> value	0.712	0.496	0.564	0.219	0.372	0.362
	partial η^2	0.03	0.07	0.06	0.14	0.09	0.10

No significant difference

Table 3 ステップパラメータ (Mean $\pm$ SD)

Group (total n=23)		Sprint Velocity [m/s]	Step Length [m]	Step Frequency [Hz]	Contact Time [s]	Flight Time [s]
0° (n=8)	Pre	9.48 $\pm$ 0.31	2.16 $\pm$ 0.08	4.39 $\pm$ 0.15	0.112 $\pm$ 0.005	0.116 $\pm$ 0.009
	Post	9.40 $\pm$ 0.33	2.14 $\pm$ 0.16	4.41 $\pm$ 0.26	0.111 $\pm$ 0.008	0.116 $\pm$ 0.011
	ES (<i>d</i>)	0.25	0.16	0.09	0.15	0.00
3° (n=7)	Pre	9.46 $\pm$ 0.18	2.16 $\pm$ 0.08	4.39 $\pm$ 0.13	0.111 $\pm$ 0.006	0.119 $\pm$ 0.004
	Post	9.54 $\pm$ 0.28	2.16 $\pm$ 0.10	4.42 $\pm$ 0.23	0.116 $\pm$ 0.007	0.111 $\pm$ 0.008
	ES (<i>d</i>)	0.34	0.00	0.16	0.77	1.26
5° (n=8)	Pre	9.55 $\pm$ 0.34	2.13 $\pm$ 0.11	4.48 $\pm$ 0.15	0.107 $\pm$ 0.006	0.116 $\pm$ 0.009
	Post	9.52 $\pm$ 0.19	2.18 $\pm$ 0.09	4.38 $\pm$ 0.15	0.117 $\pm$ 0.008 [†]	0.112 $\pm$ 0.008
	ES (<i>d</i>)	0.11	0.50	0.67	1.41	0.47
Main effect (Group)	<i>F</i>	0.22	0.02	0.08	0.22	0.14
	<i>p</i> value	0.802	0.985	0.923	0.806	0.868
	partial η^2	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01
Main effect (Pre-Post)	<i>F</i>	0.05	0.15	0.13	8.09	4.17
	<i>p</i> value	0.826	0.699	0.724	0.010 [*]	0.055 [*]
	partial η^2	0.00	0.01	0.01	0.29	0.17
Interaction Effect (Group $\times$ Pre-Post)	<i>F</i>	1.23	0.69	0.82	3.36	1.36
	<i>p</i> value	0.316	0.515	0.454	0.055 [*]	0.276
	partial η^2	0.11	0.06	0.08	0.25	0.12

*: $p \leq 0.05$ significantly different.

†: Significant difference of Bonferroni test

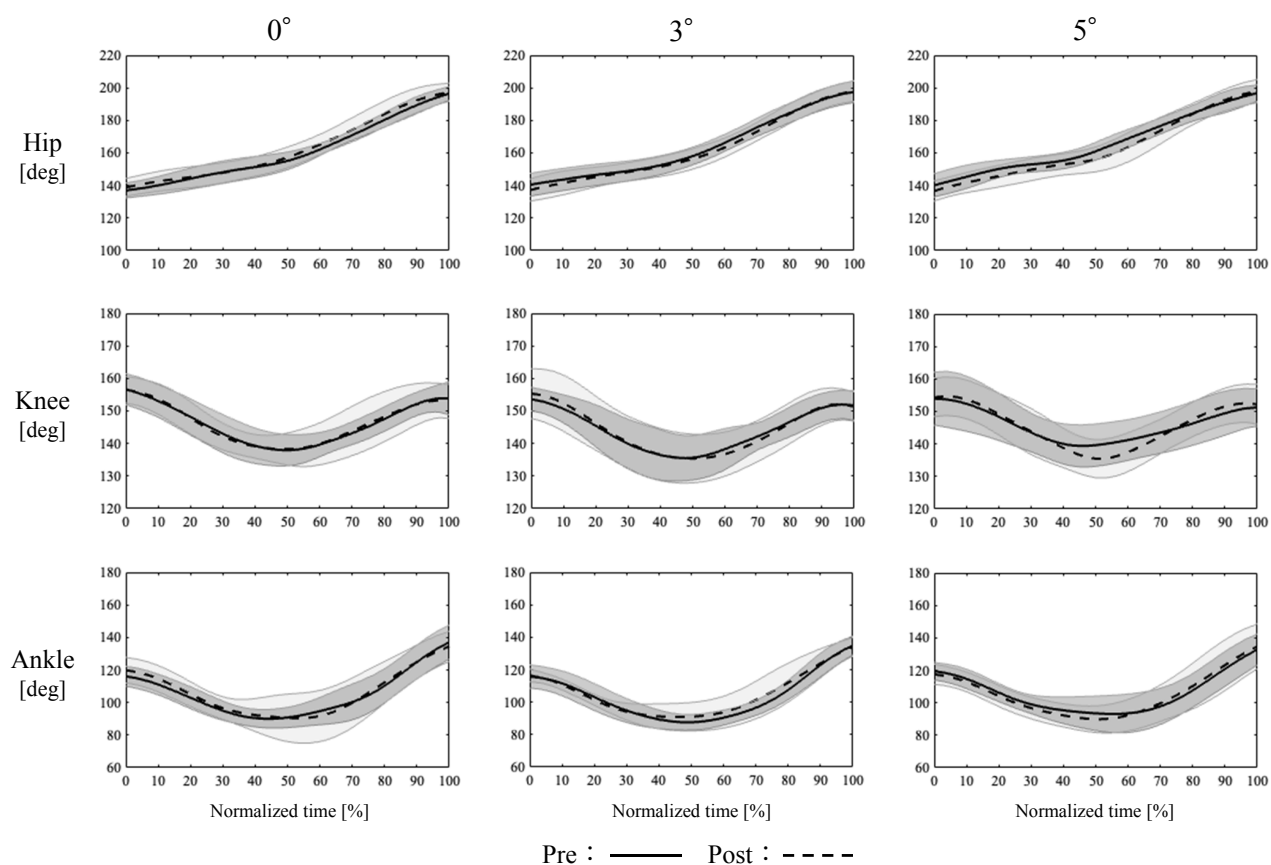


Figure 2 支持期の角度

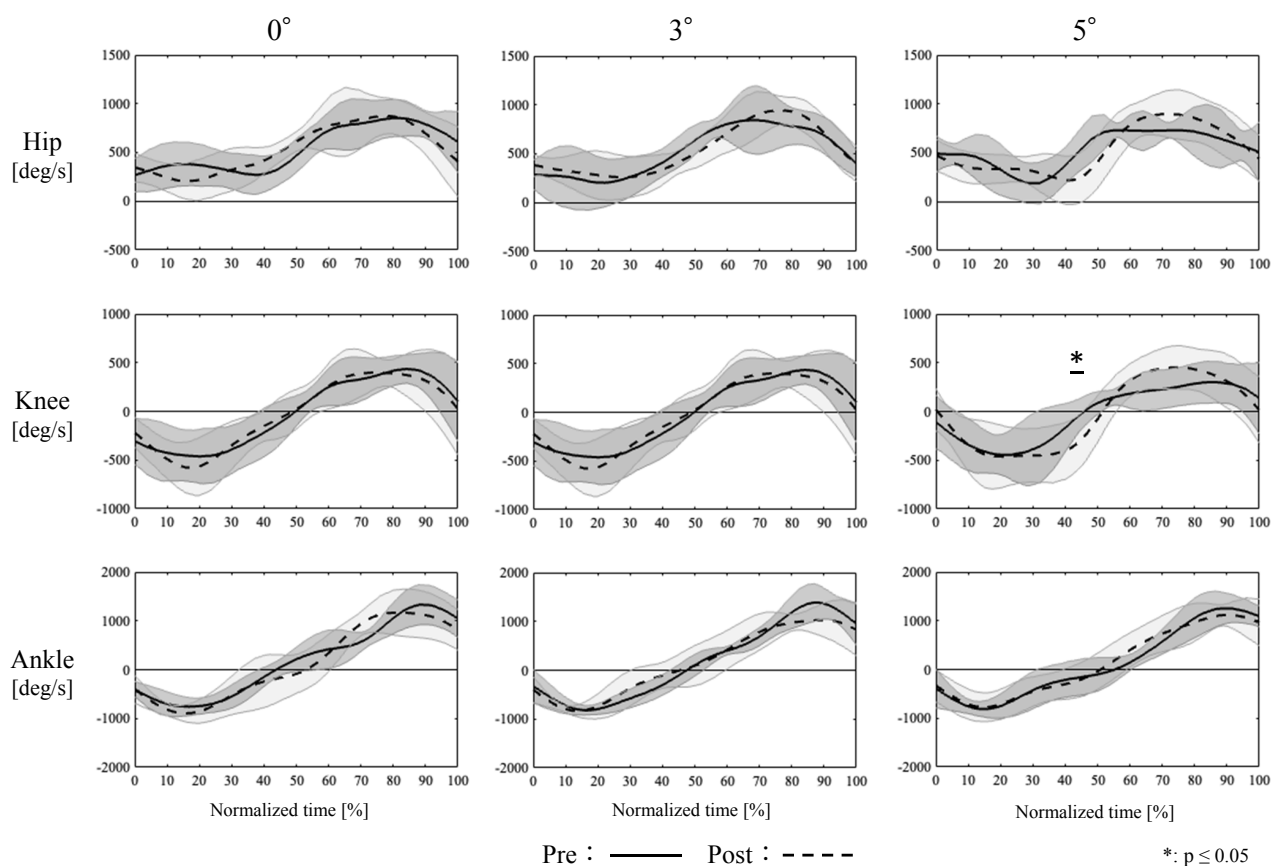


Figure 3 支持期の角速度

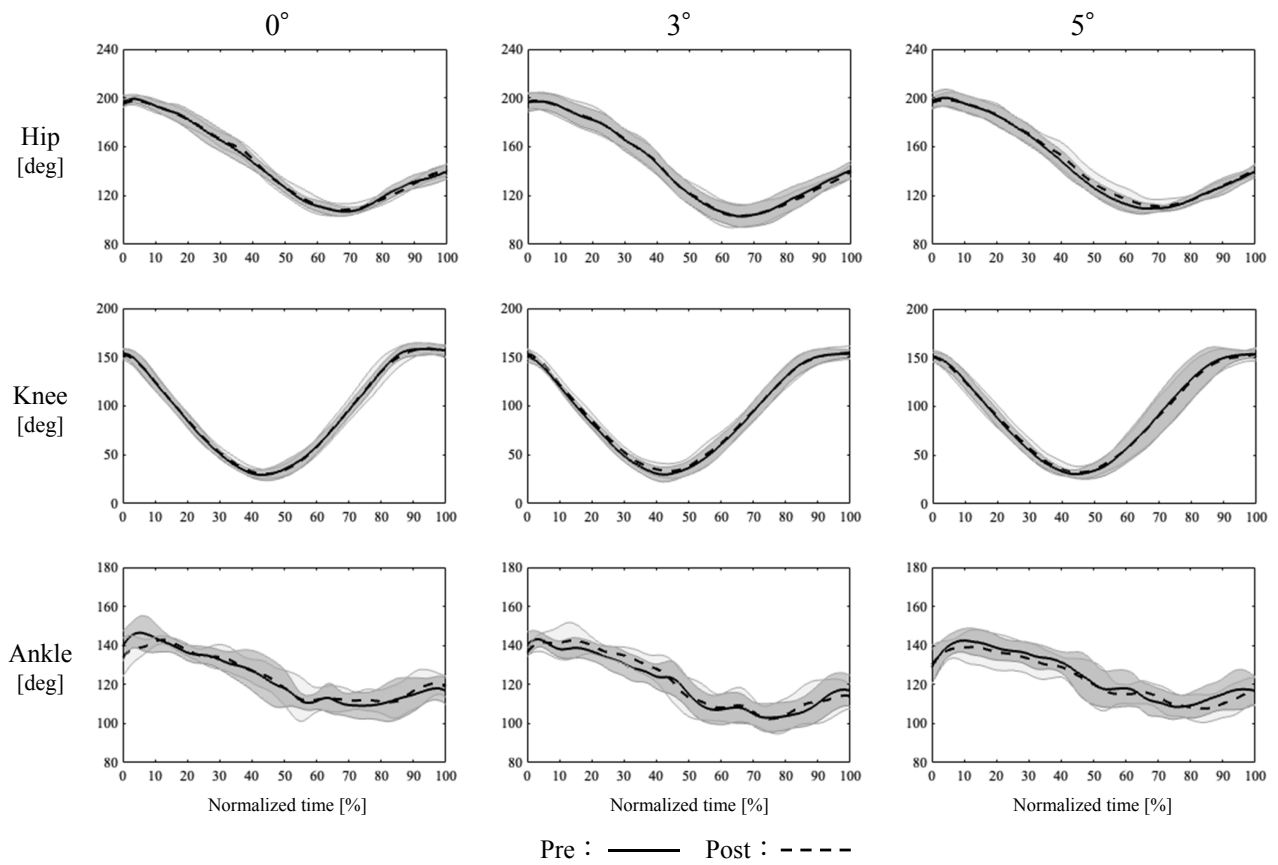


Figure 4 遊脚期の角度

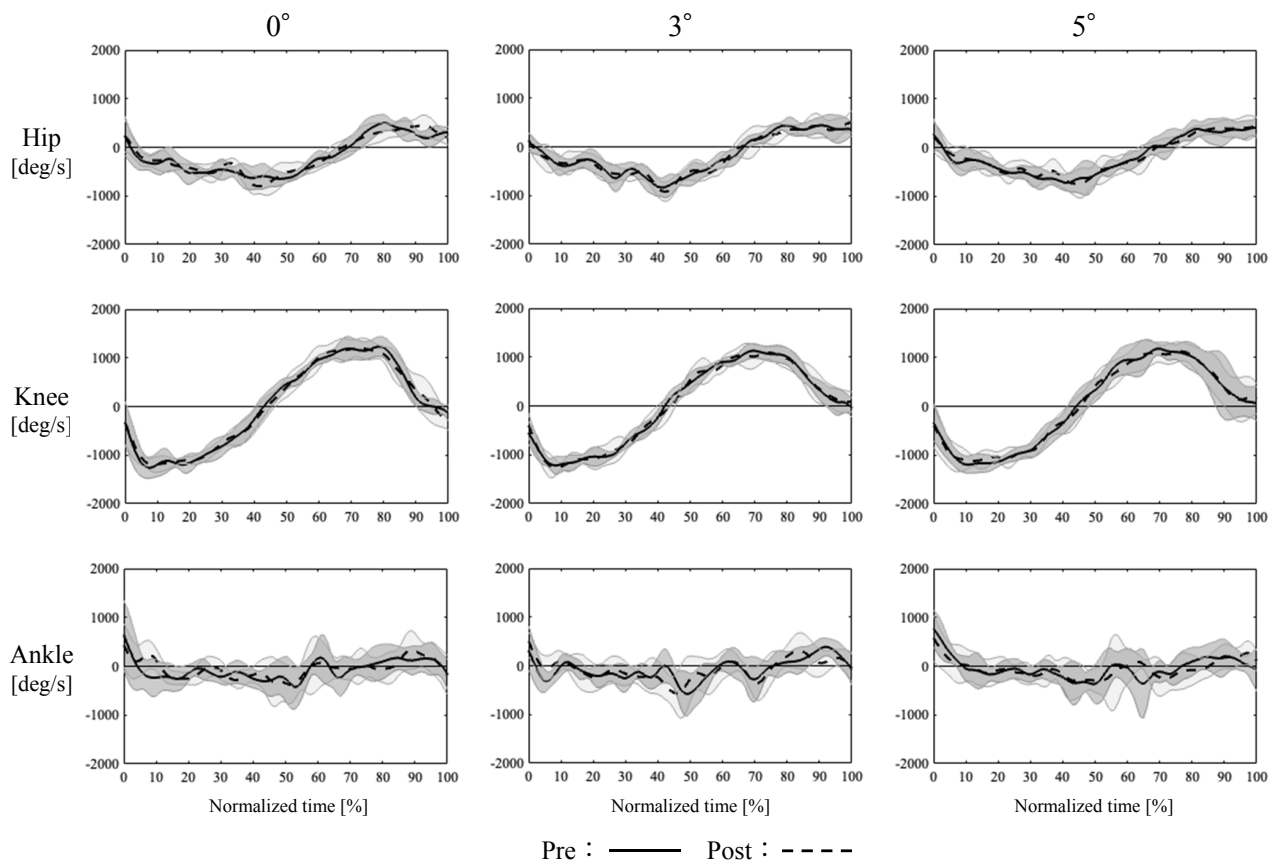


Figure 5 遊脚期の角速度

びストライドを高める PAP が生じると仮説を立てた。しかし、全ての群において Pre と Post の間に疾走速度、ピッチおよびストライドに有意差は認められなかった (Table 3)。下り坂走では重力を利用したアシストに加えて、疾走時には下り坂の構造的な特徴から脚が離地した後の次の接地には高低差が生じる。例えば、水平方向に 1m 進んだ場合、垂直距離がそれぞれ、3°で 5cm、5°で 9cm 低くなる。そのため、下り坂走では平地よりも疾走時の接地の衝撃が高く、下肢筋群の伸張性収縮を強調した運動であるとされている (Botemps et al., 2020; Chu and Caldwell, 2004)。走りやジャンプにおける着地などの伸張性収縮時には、筋紡錘が素早い伸張によって刺激を受け、主動筋の筋活動が高まり、伸張性収縮では筋の力発揮がより増大するとされている (Bosco et al., 1982)。したがって、下り坂走では平地走よりも筋はより大きな力発揮をすることが考えられる。これらの特徴から、下り坂走は PAP を引き起こす条件を十分に備えていると考えられる。また、下り坂走では斜度の増大に伴い疾走速度が高まること (Ebben et al., 2008) や上述の高低差が生じるため、斜度の大きさによって、その PAP の反応に差が生じることも容易に想像される。しかし、本研究の 3°および 5°群においてもピッチおよびストライドに有意差は認められなかった。このように下り坂走では、PAP を誘発させるトレーニングになりうるということが考えられるものの、本研究においては仮説と異なった結果であった。これまでの PAP 研究では、強度設定や休息時間、運動方法によって、その後のパフォーマンスへの影響が異なることを報告している (Comyns et al., 2007; Wilson et al., 2013)。Wilson et al. (2013) のメタアナリシスでは、スクワットなどの“重量”を強度設定にした運動後の垂直跳やウイングテストパフォーマンスの評価として検証したところ、強度設定が個人のトレーニング歴に関係なく、高い強度設定 (1RM85%, ES = 0.31) と中程度の強度設定 (1RM60-84%, ES = 1.06) では後者の運動が PAP をより誘発し、高い強度設定は PAP の効果よりも疲労が上回ってしまうことがあることを示唆している。このように、PAP では強度設定がその後の運動に与える影響を左右していることが明らかにされている。本研究の強度設定では、全ての群において走行距離 60m の全力疾走を 5 回、休息時間 3-5 分を実施し、5 回目の介入試技の 10 分後に Post を測定している。したがって、本研究の仮説と異なった結果はこれらの実験設定がピッチおよびストライドに影響を与えるだけの PAP を生じさせなかったことが要因であると考えられる。しかし、アシステッド・トレーニングにおける PAP を生じさせる適切な介入試技の回数や休息時間については明らかではなく、これらの変数を変化させることによって、本研究とは異なった反応が得られることが考えられる。したがって、本研究の実験設定における下り坂走後の平

地走では、疾走速度、ピッチおよびストライドを増大させるほどの PAP を生じさせないことが示唆された。

一方で、5°群においては支持時間が有意に増大し、その効果量 (ES) は 1.41 と大きい値を示し (Table 3)、本研究における特筆すべき結果であった。支持時間は、滞空時間とともにピッチを構成する要素とされ、支持時間の増大はピッチを低下させる要因である。支持時間の増大は、前述の下り坂走による伸張性収縮による筋の力発揮が増強した場合におけるピッチの向上する考察に反する結果であった。そこで、支持時間の変化の要因を疾走動作から見ると下肢三関節の角度に有意差は認められないものの、膝関節の角速度が Post では有意に遅かった (Fig. 3)。これは、膝関節が Pre よりも長く屈曲し続けていることを示している。疾走時の膝関節角度は接地から離地にかけて、屈曲から最大屈曲を迎え、その後伸展する (Fig. 2)。そこで角速度が 0 deg/s の値を示した場合には膝関節が最大屈曲に到達し、その後に伸展に切り替わるタイミングを示している。5°群の膝関節角速度を見ると有意差が認められた規格化時間 41% から 44% 地点では、Pre は角速度 0 deg/s の値を示し、その後 Post が 0 deg/s に達する (Fig. 3)。これは、5°群の Post では膝関節の屈曲から伸展のタイミングが遅くなったことを示し、疾走パターンを変容させたことを示唆している。下り坂走は下肢筋群の伸張性収縮を強調した運動であるとされ (Botemps et al., 2020; Chu and Caldwell, 2004)、平地よりも下り坂では高低差による着地の衝撃から、大腿直筋の筋活動が高いことやその後の筋力測定において、膝関節の最大伸展筋力が低下することが報告されている (Giadolini et al., 2016; Mizrashy et al., 2001)。また、Gottschall and Kram (2005) は傾斜を付けたトレッドミル走 (速度 3m/s) の地面反力を測定したところ、下り坂の斜度の増大に伴い、斜面上の垂直方向の最大衝撃力が増大すると報告している (0°: 974N, 3°: 1149N, 6°: 1283N)。このように下り坂の斜度の増大によって、着地の衝撃が高まることから斜度が増大することは下肢筋群の伸張性収縮による筋への負荷も増大することが考えられる。また伸張性収縮は、筋が伸ばされながら力を発揮するため筋線維に微細な損傷を起こすとされ、高強度の伸張性収縮を伴う運動では運動前に計測した等尺性筋力と筋痛の数値が運動後に元の数値に回復するまでの時間が低強度よりも長く、高い強度の伸張性収縮の運動は大きな筋力低下や筋痛をもたらすと示唆している (Paschalis et al., 2005)。このようなことから、5°群の下り坂走では斜度の高低差によって接地時の衝撃が高く、伸張性収縮による下肢筋群の筋力低下を引き起こし、介入後の Post において膝関節の屈曲伸展パターンを変化させたことが考えられる。その結果、支持時間が増大したことが推察される。また、3°群においては支持時間やその他のパラメータに有意差は認められず、5°群との実

験設定の差異は斜度のみであり、斜度の違いが3°群と5°群の影響の違いを示したことが考えられる。しかし、高速度の下り坂走における地面反力や筋活動などの検証はされておらず、下り坂走における下肢筋群への負荷は更なる検証が必要である。

異なる疾走速度の個人内の変容を比較した研究では、疾走速度を高めるためには支持時間を減少させ、ピッチを増大させることが重要であると報告している (Weyand et al., 2000; 2010)。また、Otuka et al. (2016) はスプリンターのスピード・トレーニング時とレース時のパフォーマンスを比較すると、レース時は疾走速度が高く、支持時間を短くし、ピッチを高めているとしている。このように、短期的に個人内の疾走速度をより高めるためにはストライドを増大させるよりも支持時間を短くし、ピッチを高めることが重要であると考えられている。本研究では短期的なトレーニング効果として下り坂走のPAPを検証したが、全ての群においてストライドおよびピッチに有意差は認められなかった。一方で、ピッチを構成する支持時間において、5°群のみにPostの支持時間が有意に増大した。この結果から、本研究の実験設定における5°の下り坂走は、その後の平地走において支持時間を増大させるため、PAPによる即時的に疾走パフォーマンスを向上させることを目的とした実施には適さないことが考えられる。3°群においては、本研究において各パラメータに有意差が認められないことから、本研究の実験設定における具体的な実践への示唆は得られなかった。

本研究の限界に、全ての対象者は下り坂走の実験経験があるものの、事前に下り坂走のトレーニング期間を設けていないため、習熟度によってPAPの効果が異なることが考えられる。また、PAPの研究では実験設定における介入試技の回数や休息時間や対象者のパフォーマンスレベルによっても結果が左右されると報告されている (Comyns et al., 2007; Wilson et al., 2013)。本研究では斜度の違いによるPAPを検討しているため、介入試技の回数や休息時間の設定は今後の検討課題である。したがって、下り坂走のPAPを実践現場に応用するためには、これらの設定を細かく変えることや個人の能力に応じた設定を検討していく必要がある。

5. まとめ

本研究は異なる斜度の下り坂走トレーニングが即時的に平地走に与える影響をトレーニング前後の60m走 (Pre-Post) の運動学的変数から検証した。その結果、0°群、3°群、5°群の全てにおいて、疾走速度、ピッチおよびストライドに有意差は認められず、これらのパラメータを左右するほどのPAPは認められなかった。一方で、5°群のみにPostの支持時間が増大し、支持期の膝関節の屈曲から伸展に切り替わるタイミングが遅くなった。こ

の影響は、実験設定 (介入試技の回数、休息時間) が全ての群で同一であることから、5°群の下り坂走による斜度の違いがもたらした影響であることが示唆された。以上のことから、3°と5°の下り坂走では、ピッチおよびストライドに即時的に与える影響は認められなかったものの、5°群のみ支持時間を増大させた。これは異なる斜度の下り坂走による即時的なトレーニングは斜度によって、平地走に与える影響が異なることを示唆した。

謝辞

本研究は2021年度公益財団法人ヤマハ発動機振興財団スポーツチャレンジ助成を受けたものである。

文献

- Argus C.K., Gill N.D., Keogh J.W.L., Blazevich A.J., and Hopkins W.G. (2011) Kinetic and training comparisons between assisted, resisted, and free countermovement jumps. *J Strength Cond Res*, 25 (8): 2219-2227
- Bontemps B., Vercruyssen F., Gruet M., and Louis J. (2020) Downhill running: what are the effects and how can we adapt? A narrative review. *Sports Med*, 50: 2083-2110
- Bosco C., Ito A., Komi P.V., Luhtanen P., Rahlkila P., Rusko H., and Viitasalo J.T. (1982) Neuromuscular function and mechanical efficiency of human leg extensor muscles during jumping exercises. *Acta Physiol Scand*, 114 (4): 543-550
- Cazas V.L., Brown L.E., Coburn J.W., Galpin A.J., Tufano J.J., Laporta J.W., and Du Bois A.M. (2013) Influence of rest intervals after assisted jumping on bodyweight vertical jump performance. *J Strength Cond Res*, 27 (1): 64-68
- Chiu L.Z.F., Fry A.C., Weiss L.W., Schilling B.K., Brown L.E., and Smith S.L. (2003) Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *J Strength Cond Res*, 17 (4): 671-677
- Chu J.J. and Caldwell G.E. (2004) Stiffness and damping response associated with shock attenuation in downhill running. *J Appl Biomech*, 20: 291-308
- Cohen, J. (1992) Statistical power analysis. *Curr Dir Psychol Sci*, 1: 98-101.
- Colyer, S.L., Nagahara R., Takai Y., and Salo A.I.T. (2018) How sprinters accelerate beyond the velocity plateau of soccer players: waveform analysis of ground reaction forces. *Scand J Med Sci Sports*, 28: 2527-2535
- Comyns T.M., Harrison A.J., Hennessy L., and Jensen R.L. (2007) Identifying the optimal resistive load for complex training in male rugby players. *Sports Biomechanics*, 6 (1): 59-70
- Cook J.C., Beaven C.M., and Kilduff L.P. (2013) Three weeks of eccentric training combined with overspeed

- exercises enhances power and running speed performance gains in trained athletes. *J Strength Cond Res*, 27 (5): 1280-1286
- Ebben W.P., Davies J.A., and Clewien R.W. (2008) Effect of the degree of hill slope on acute downhill running velocity and acceleration. *J Strength Cond Res*, 22 (3): 898-902
- Faude O., Koch T., and Meyer T. (2012) Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci*, 30 (7): 625-631.
- Giandolini M., Vernillo G., Samozino P., Horvais N., Edwards W.B., Morin J.B., and Millet G.Y. (2016) Fatigue associated with prolonged graded running. *Eur J Appl Physiol*, 116: 1859-1873
- Gottschall J.S. and Kram R. (2005) Ground reaction forces during downhill and uphill running. *J Biomech*, 38: 445-452
- 羽田雄一・阿江通良・榎本靖士・法元康二・藤井範久 (2003) 100m 走における疾走スピードと下肢関節のキネティクスの変化. *バイオメカニクス研究*, 7 (3): 193-205
- Haugen T., Seiler S., Sandbakk Ø., and Tønnessen E. (2019) The training and development of elite sprint performance: an integration of scientific and best practice literature. *Sports Med*, 5 (44)
- Hicks D. (2017) Resisted and assisted sprint training: determining the transfer to maximal sprinting. *New Studies in Athletics*, 32 (1/2): 35-51
- Hodgson M., Docherty D., and Robbins D. (2005) Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Med*, 35: 585-595
- Mačkala K. (2007) Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 meters. *New Studies in Athletics*, 22 (2): 7-16
- Majumdar A.S. and Robergs. R.A. (2011) The science of speed: determinants of performance in the 100m sprint. *Int J Sports Sci Coach*, 6 (3): 479-493
- Maloney S.J., Turner A.N., and Fletcher I.M. (2014) Ballistic exercise as a pre-activation stimulus: a review of the literature and practical applications. *Sports Med*, 44: 1347-1359
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・松林武生・山本真帆・高橋恭平・小林 海・杉田正明 (2014) 男女 100m レースにおける記録とスピード, ピッチおよびストライドの関係について. *陸上競技研究紀要*, 10: 64-74
- Mizrahi J., Verbitsky O., and Isakov E. (2001) Fatigue-induced change in decline running. *Clin Biomech*, 16: 207-212
- Nagahara R., Kanehisa H., and Fukunaga T. (2020) Ground reaction force across the transition during sprint acceleration. *Scand J Med Sci Sports*, 30: 450-461
- Nealer A.L., Dunnick D.D., Malyszczek K.K., Wong M.A., Costa P.B., Coburn J.W., and Brown L.E. (2017) Influence of rest intervals after assisted sprinting on bodyweight sprint times in female collegiate soccer players. *J Strength Cond Res*, 31 (1): 88-94
- Otsuka M., Kawahara T., and Isaka T. (2016) Acute response of well-trained sprinters to a 100-m race: higher sprinting velocity achieved with increased step rate compared with speed training. *J Strength Cond Res*, 30 (3): 635-642
- Paradisis G.P. and Cooke C.B. (2001) Kinematic and postural characteristics of sprint running on sloping surfaces. *J Sports Sci*, 19 (2): 149-159
- Paradisis G.P. and Cooke C.B. (2006) The effects of sprint running training on sloping surfaces. *J Strength Cond Res*, 20 (4): 767-777
- Paschalis V., Koutedakis Y., Jamurtas A.Z., Mougios V., and Baltzopoulos V. (2005) Equal volumes of high and low intensity of eccentric exercise in relation to muscle damage and performance. *J Strength Cond Res*, 19(1):184-188
- Pataky T.C. (2011) One-dimensional statistical parametric mapping in python. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 15 (3): 295-301
- Rumpf M.C., Lockie R.G., Cronin J.B., and Jalilvand F. (2016) Effect of different sprint training methods on sprint performance over various distances: a brief review. *J Strength Cond Res*, 30 (6): 1767-1785
- Sale D.G. (2002) Postactivation potentiation: role in human performance. *Exerc Sport Sci Rev*, 30 (3): 138-143
- Seitz L.B. and Haff G.G. (2016) Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med*, 46: 231-240
- Tran T.T., Brown L.E., Coburn J.W., Lynn S.K., and Dabbs N.C. (2012) Effects of assisted jumping on vertical jump parameters. *Curr Sports Med Rep*, 11 (3): 155-159
- Weyand P.G., Sternlight D.B., Bellizzi M.J., and Wright S. (2000) Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol*, 89: 1991-1999
- Weyand P.G., Sandell R.F., Prime D.N.L., and Bundle M.W. (2010) The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *J Appl Physiol* 108: 950-961
- Wilson J.M., Duncan N.M., Marin P.J., Brown L.E., Loenke J.P., Wilson S.M.C., Jo E., Lowery R.L., and Ugrinowitsch

- C. (2013) Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest period, and training status. *J Strength Cond Res*, 27 (3): 854-859
- Winwood P.Q., Posthumus L.R., Cronin J.B., and Keogh W.L. (2016) The acute potentiating effects of heavy sled pulls on sprint performance. *J Strength Cond Res*, 30 (5): 1248-1254
- Winter D.A. (2009) Kinematics. In: *biomechanics and motor control of human movement*. Hoboken, pp.45-81
-

男子やり投げ競技者における前および鉛直方向のやり速度に対するキネマティクスの貢献

牧野瑞輝¹⁾, 田内健二²⁾

Kinematic contribution to forward and vertical javelin velocity in male javelin throwers

Mizuki MAKINO¹⁾, Kenji TAUCHI²⁾

Abstract

The purpose of this study was to clarify how each body segment contributes to the forward and vertical javelin velocity in male javelin throwers and to examine the characteristics of throwers with higher forward and vertical release velocities. The throwing motion of 115 male javelin throwers (39.09–90.33 m) who participated in the actual competitions was captured by two cameras. A total of five points of body segment were digitized from the obtained images, and the coordinates were calculated by the three-dimensional motion analysis technique. A model consisting of relative velocity and three-dimensional polar coordinate was used to determine the extent to which forward and vertical javelin velocities are acquired by each movement. Using this model, the forward and vertical javelin velocities in this study are evaluated as the sum of the contributions of the “Leg”, “Trunk flexion”, “Trunk length-change”, “Trunk lateral lean”, “Trunk horizontal rotation”, “Arm length-change”, “Arm upward rotation” and “Arm horizontal rotation”.

Throwers with higher forward release velocity had the higher contribution of leg throughout all phases, trunk flexion and horizontal rotation after left foot touchdown, and arm horizontal rotation before release. Throwers with higher vertical release velocity had the higher contribution of trunk lateral lean after left foot touchdown, and arm length change and upward rotation before release.

キーワード：やり投げ, キネマティクス, 貢献, 相対速度, 三次元極座標

1. 緒言

やり投げは陸上競技における投てき種目のうちの一つである。やり投げにおいて、記録はリリース時のやりの速度（以下、リリース速度と略す）によって概ね決定される（Komi and Mero, 1985; Bartlett et al., 1996）。こうした背景から、やり投げに関する先行研究の多くは、記録の優れた者に共通する姿勢や関節運動の特徴を明らかにすることで、高いリリース速度を獲得するために重要な動作を検討している。例えば、記録の優れたやり

投げ競技者（右投げの場合）では、最後の左足接地時の身体重心速度が高かったこと（田内ら, 2012）や、左足接地時のグリップと右腰との水平距離が長かったこと（Bartlett et al., 1996）、リリース時の左膝がより伸展位であったこと（Murakami et al., 2017）、リリース時の体幹の前傾角速度が高かったこと（Murakami et al., 2006）、投てき腕側の腰、肩、肘、やりの最大速度が高かったこと（Whiting et al., 1991）など、多数の要因が高いリリース速度の獲得に関係していることが明らかにされている。また、やり投げでは、最適な投射角度がおおよそ 30° であることがコンピュータシミュレーションによって明らかにされている（Hubbard and Alaways, 1987）。このことを踏まえると、やりをより遠くに投てきするためには、前および鉛直方向のリリース速度の双方を同時に高めることで、適切な投射角度を維持しながら、合成のリリース速度を高める必要がある。さらに Campos et al. (2004) は、同程度のリリース速度を獲得した競技者間において、前方向のリリース速度に優れた者と鉛直方向のリリース速度に優れた者とが存在していたことを報告している。このことは、前方向のリリース速度と鉛直方向のリリース速度にはトレードオフの関係が存在することを示唆するものである。つまり、やり投げにおける前および鉛直方向のリリース速度は、それぞれ異なる動作によって獲得されている可能性が考えられる。

身体各部の動作によって獲得される末端部（やり投げの場合、やりのグリップ）の速度は、身体部分の角速度ベクトルと、その回転中心から末端部に向かう変位ベクトル（回転半径）との外積によって決定される（Springs et al., 1994; 宮西ら, 1996）。このことは、先行研究で重要とされる動作、例えば、リリース時の体幹の前傾角速

1) 中京大学大学院スポーツ科学研究科 Graduate School of Health and Sport Science, Chukyo university

〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101 中京大学豊田キャンパス

2) 中京大学スポーツ科学部 School of Health and Sport Science, Chukyo University

〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101 中京大学豊田キャンパス

度のみを高めたからといって、それに伴って回転半径が小さくなったとすれば、体幹の前傾動作によって獲得されるやり速度は高まらないということである。従って、やり投げにおいて高いリリース速度を獲得するためのより有益な知見を得るためには、パフォーマンスの優れた競技者に共通する姿勢や関節運動の特徴を明らかにするだけでなく、身体各部の動作によって獲得されるやり速度を検討する必要があると考えられる（本研究では、“身体各部の動作によって獲得されるやり速度”のことを、“やり速度に対する身体各部の貢献”とする）。しかしながら、Sprigings et al. (1994) や宮西ら (1996) の手法は、各関節における移動座標系を構築するために、関節中心以外の分析点（橈骨および尺骨の茎状突起部や、肘の内果および外果）を用いるため、競技者が最大限のパフォーマンスを発揮する競技会などの試技から正確な分析点を得ることが困難であるといった問題点が挙げられる。

実際の競技会において、やり速度に対する身体各部の貢献を定量化した研究には、田内ら (2006) の提案したモデルを用いて評価したもの（田内ら, 2008；村上ら, 2009；塚田ら, 2014）が挙げられる。これらの研究は、5つの身体分析点から、前方向のやり速度を「下肢」、「体幹の起こし回転」、「体幹の長軸回転」、「上肢の伸展」、「上肢の水平回転」の5つの要因によって得られたやり速度の総和として評価している。しかしながら、先述した先行研究からも確認できるように、やり投げではより高いリリース速度の獲得に様々な要因が関与することが示されている。このことを踏まえると、田内ら (2006) の手法によってやり速度に対する身体各部の貢献を5つの要因にまとめて検討することは、複雑なやり投げ動作の詳細な特徴を捉えきれていない可能性が考えられる。一方、やりを加速させる局面（最後の左足接地からリリースまでの間）の所要時間は、世界トップレベルの男子やり投げ競技者でおよそ0.1秒と極めて短く（Tauchi et al., 2009）、現場のコーチはその間に行われる投てき動作を観察し、評価している。そのため、よりコーチング現場に有益な知見を提示するためには、動作の詳細なメカニズムを明らかにすることのほかにも、やり速度に対する身体各部の貢献を少ない要因で評価し、直感的に分かりやすいデータを提示することも重要な観点であると考えられる。こうした背景から、田内ら (2006) のモデルは投てき種目のパフォーマンス分析において多く用いられてきた（田内ら, 2008；村上ら, 2009；塚田ら, 2014；山本ら, 2019；山本ら, 2020）。そのなかでも、やり投げを対象とした研究は、いずれも事例的なものに限られるため、得られた結果が一般化できるか否かは不明である。さらに、田内ら (2006) のモデルは、身体分析点を動径および方位角からなる2次元（水平面）の極座標を用いて表現するため、鉛直方向のやり速度に対する身体各部の貢献については考慮できない。つまり、このモデ

ルをそのままやり投げ動作の分析に適用することは、パフォーマンスの優れたやり投げ競技者の特徴を捉えるには不十分であると考えられる。そのため、田内ら (2006) のモデルに鉛直軸からの傾きを表す成分である“天頂角”を含め、身体分析点を3次元の極座標によって表現することで、前および鉛直方向のやり速度に対する身体各部の貢献の仕方を同時に評価できるようになると考えられる。多数のやり投げ競技者を対象に、前および鉛直方向のやり速度がどの動作によってどの程度獲得されていたのかを簡便に評価することができれば、より高い前および鉛直方向のリリース速度を獲得するための要点を明確にすることや、やり投げを指導する際の着眼点を検討するために有益な知見となることが予想される。

そこで本研究の目的は、男子やり投げ競技者における前および鉛直方向のやり速度に対する身体各部の貢献の仕方を明らかにし、前および鉛直方向のリリース速度の高い競技者の特徴を検討することとした。

2. 方 法

2.1. 対象者と試技

本研究では実際の試合に出場した115名の男子やり投げ競技者を対象とした。なお、全ての対象者は右投げであった。分析試技は、各対象者の個人内で最も記録が良かった試技とした。本研究の分析試技における投てき記録は $65.89 \pm 12.07\text{m}$ (39.09-90.33m) であった。

2.2. データ収集および処理

試合における対象者の投てき動作は、助走路の側方と後方に設置された2台のデジタルビデオカメラ（HVR-AIJ, SONY）によって撮影された。カメラのフレームレートは60Hz、露光時間は1/1000秒であった。やり投げ助走路の中央およびファールラインより後方6mを原点とし、撮影範囲は投てき方向に6m、左右方向に4m、上下方向に2.5mとした。また、競技の開始前に撮影範囲内の9点にキャリブレーションボールを映しこんだ。なお、実際の競技会におけるデータ収集は、主催者の許可を得て実施された。

5点の分析点（やりのグリップ、右肩関節、左肩関節、右股関節、左股関節）は、動作分析ソフトウェア（Frame-DIAS IV, Q'sfix）を用いて、毎秒60コマでデジタイズした。2台のカメラで撮影された画像の時系列は、やりのリリース時を基準とするイベント法によって同期した。デジタイズされた身体分析点の座標値は、3次元DLT法によって算出した。算出された座標値は、8Hzの位相ずれのない4次のButterworth low-pass digital filterによって平滑化した。なお、遮断周波数は先行研究に基づいて決定した（瀧川と田内, 2020；瀧川ら, 2020）。後述する算出項目において使用する両肩中心および両股関節中心の座標値は、左右の肩関節および股関

節の座標値をもとに算出した。本研究では、投てき方向をY軸、鉛直方向をZ軸、投てき方向に対して右方向をX軸とする静止座標系を定義した。分析区間は、最後の右足接地 (R-on) からやりのリリース時 (Rel) までとし、R-on から最後の左足接地 (L-on) までを準備局面、L-on から Rel までを投てき局面とした。

2.3. 算出項目

(1) リリース速度

やりのリリース速度は、Rel 時のやりの変位を時間で微分することで算出した。なお、本研究では、前 (Y 軸) および鉛直 (Z 軸) 方向のリリース速度を算出した。

(2) やり速度に対する身体各部の貢献

本研究では田内ら (2006) の方法に基づいて、前および鉛直方向のやり速度に対する身体各部の貢献を算出した。すなわち、やりの速度 (V_j) は、下肢の速度 (V_L) と下肢に対する体幹の相対速度 (V_{TL})、体幹に対するやりの相対速度 (V_{JT}) の総和として、以下のように表される (図1)。

$$V_j = V_L + V_{TL} + V_{JT}$$

ここで、 V_L は両股関節中心の速度、 V_{TL} は両股関節中心に対する両肩中心の相対速度、 V_{JT} は両肩中心に対するやりのグリップの相対速度を示す。そのなかでも、 V_L および V_{TL} は、それぞれ“下肢”によって得られたやり速度、および“体幹長軸の屈曲”によって得られたやり速度と定義した。また、本研究では、 V_{JT} を詳細に検討するため、両肩中心と右肩を結んだセグメント (体幹セグメント) と右肩とグリップを結んだセグメント (上肢セグメント) を、動径 (R)、天頂角 (θ)、方位角 (ϕ) からなる、2リンクの三次元極座標としてモデル化した

(図1)。なお、三次元極座標の各成分は、以下の式から算出した。

$$R_t = \sqrt{(x_{rs} - x_{cs})^2 + (y_{rs} - y_{cs})^2 + (z_{rs} - z_{cs})^2}$$

$$\theta_t = \cos^{-1} \left(\frac{z_{rs} - z_{cs}}{\sqrt{(x_{rs} - x_{cs})^2 + (y_{rs} - y_{cs})^2 + (z_{rs} - z_{cs})^2}} \right)$$

$$\phi_t = \tan^{-1} \left(\frac{y_{rs} - y_{cs}}{x_{rs} - x_{cs}} \right)$$

$$R_a = \sqrt{(x_j - x_{rs})^2 + (y_j - y_{rs})^2 + (z_j - z_{rs})^2}$$

$$\theta_a = \cos^{-1} \left(\frac{z_j - z_{rs}}{\sqrt{(x_j - x_{rs})^2 + (y_j - y_{rs})^2 + (z_j - z_{rs})^2}} \right) - \theta_t$$

$$\phi_a = \tan^{-1} \left(\frac{y_j - y_{rs}}{x_j - x_{rs}} \right) - \phi_t$$

ここで、添え字の t および a は、それぞれ体幹セグメントおよび上肢セグメントを示す。添え字の cs および rs 、 j はそれぞれ、両肩中心および右肩、やりのグリップを示す。そして、両肩中心に対するグリップの相対位置 (前後方向、鉛直方向) を本研究で定義した2リンクの三次元極座標によって表現すると、以下の式の通りになる。

$$Y_{JT} = R_t \sin \theta_t \sin \phi_t + R_a \sin(\theta_t + \theta_a) \sin(\phi_t + \phi_a)$$

$$Z_{JT} = R_t \cos \theta_t + R_a \cos(\theta_t + \theta_a)$$

これらの式を微分して、以下に示す導関数を算出することで、前および鉛直方向の V_{JT} を算出した。

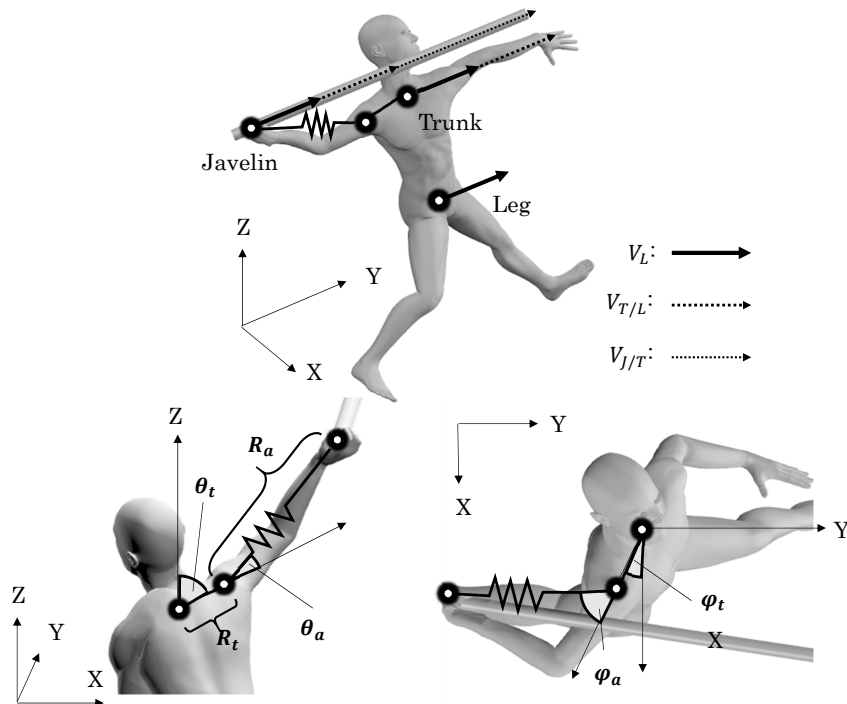


図1 相対速度と三次元の極座標を用いたモデルの模式図

$$\begin{aligned}
\dot{Y}_{J/T} &= \dot{R}_t \sin \theta_t \sin \varphi_t \\
&+ \dot{\theta}_t (R_t \cos \theta_t \sin \varphi_t + R_a \cos(\theta_t + \theta_a) \sin(\varphi_t + \varphi_a)) \\
&+ \dot{\varphi}_t (R_t \sin \theta_t \cos \varphi_t + R_a \sin(\theta_t + \theta_a) \cos(\varphi_t + \varphi_a)) \\
&+ \dot{R}_a \sin(\theta_t + \theta_a) \sin(\varphi_t + \varphi_a) \\
&+ \dot{\theta}_a (R_a \cos(\theta_t + \theta_a) \sin(\varphi_t + \varphi_a)) \\
&+ \dot{\varphi}_a (R_a \sin(\theta_t + \theta_a) \cos(\varphi_t + \varphi_a)) \\
\dot{Z}_{J/T} &= \dot{R}_t \cos \theta_t \\
&+ \dot{\theta}_t (R_t (-\sin \theta_t) + R_a (-\sin(\theta_t + \theta_a))) \\
&+ \dot{R}_a \cos(\theta_t + \theta_a) \\
&+ \dot{\theta}_a (R_a (-\sin(\theta_t + \theta_a)))
\end{aligned}$$

ここでは、 R_t の微分項は“体幹の伸縮”， θ_t の微分項は“体幹の左右傾”， φ_t の微分項は“体幹の水平回転”， R_a の微分項は“上肢の伸縮”， θ_a の微分項は“上肢の上方回転”， φ_a の微分項は“上肢の水平回転”によって得られたやり速度として定義した。

以上のことから、時々刻々と変化するやり速度は、“下肢”，“体幹長軸の屈曲”，“体幹の伸縮”，“体幹の左右傾”，“体幹の水平回転”，“上肢の伸縮”，“上肢の上方回転”，“上肢の水平回転”によって得られたやり速度の総和として表すことができる。これらの動作要因は、相対速度と三次元の極座標を用いたモデルによって全身の関節運動を単純化して導出されたものである。例えば、前および鉛直方向のやり速度に対する“下肢”による貢献は左右の股関節や膝関節の伸展によって股関節中心を移動させる動作，“体幹長軸の屈曲”による貢献は体幹長軸の前屈や左屈によって両股関節中心に対する両肩中心の相対位置を変化させる動作など、上述した動作要因はその時々々の姿勢や複数の関節運動に影響される。

算出された時系列データは、準備局面 (0.21 ± 0.03 秒) と投てき局面 (0.14 ± 0.02 秒) の時間の比がおおよそ 6:4 であったことから、準備局面を 0-60%，投てき局面を 60-100%として規格化した (図2)。

2.4. 統計処理

前方向のリリース速度と前方向のやり速度に対する身体各部の貢献との関係、および鉛直方向のリリース速度と鉛直方向のやり速度に対する身体各部の貢献との関係は、ピアソンの積率相関係数を算出することで確認した。

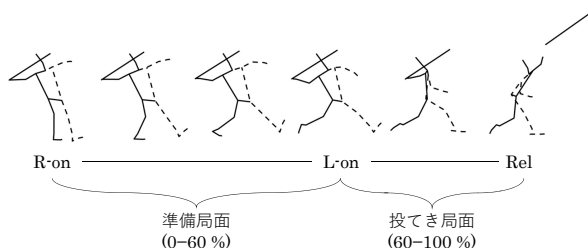


図2 局面定義

相関係数は規格化時間 5% ごとに算出し、統計的有意水準は 5% 未満とした。

3. 結果

図3には、前方向のやり速度と前方向のやり速度に対する身体各部の貢献における平均値の変化を示している。R-on から規格化時間 40% 付近までは、前方向のやり速度のほとんどが下肢の貢献によるものであった。規格化時間 40% 付近から下肢の貢献が減少するとともに、体幹長軸の屈曲や上肢の伸縮の貢献が増大していた。投てき局面の後半では、体幹の水平回転や上肢の水平回転による貢献が順次増大することで Rel を迎えていた。

図4には、前方向のリリース速度と前方向のやり速度に対する各動作要因による貢献との相関関係を示している。なお、体幹の伸縮による貢献は、全ての局面を通して値が 0 付近であったため、前方向のリリース速度との間における相関係数を算出しなかった。下肢 (a) では、全ての局面を通して有意な正の相関関係が認められた。体幹長軸の屈曲 (b) では、規格化時間 75-90% において有意な正の相関関係が認められた。体幹の左右傾 (c) では、規格化時間 90-95% において有意な負の相関関係が認められた。体幹の水平回転 (d) では、規格化時間 0-30% および 100% において有意な負の相関関係、規格化時間 75-90% において有意な正の相関関係が認められた。上肢の伸縮 (e) では、規格化時間 95-100% において有意な正の相関関係が認められた。上肢の水平回転 (g) では、規格化時間 20-25% および 90-100% において有意な正の相関関係、規格化時間 80% において有意な負の相関関係が認められた。

図5には、鉛直方向のやり速度と鉛直方向のやり速度に対する身体各部の貢献における平均値の変化を示している。規格化時間 50% 付近から 70% 付近では体幹の左右傾による貢献が増大するとともに、上肢の上方回転による貢献が減少していた。規格化時間 70% 以降に体幹の左右傾による貢献が減少するにつれて、上肢の上方回転による貢献が増大していき、規格化時間 90% 付近から上肢の伸縮による貢献が増大することで Rel を迎えて

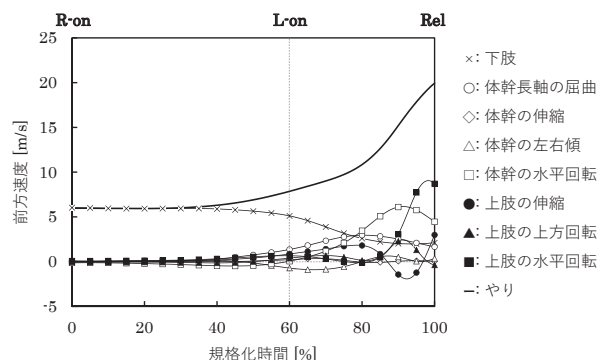


図3 前方向のやり速度に対する身体各部の貢献

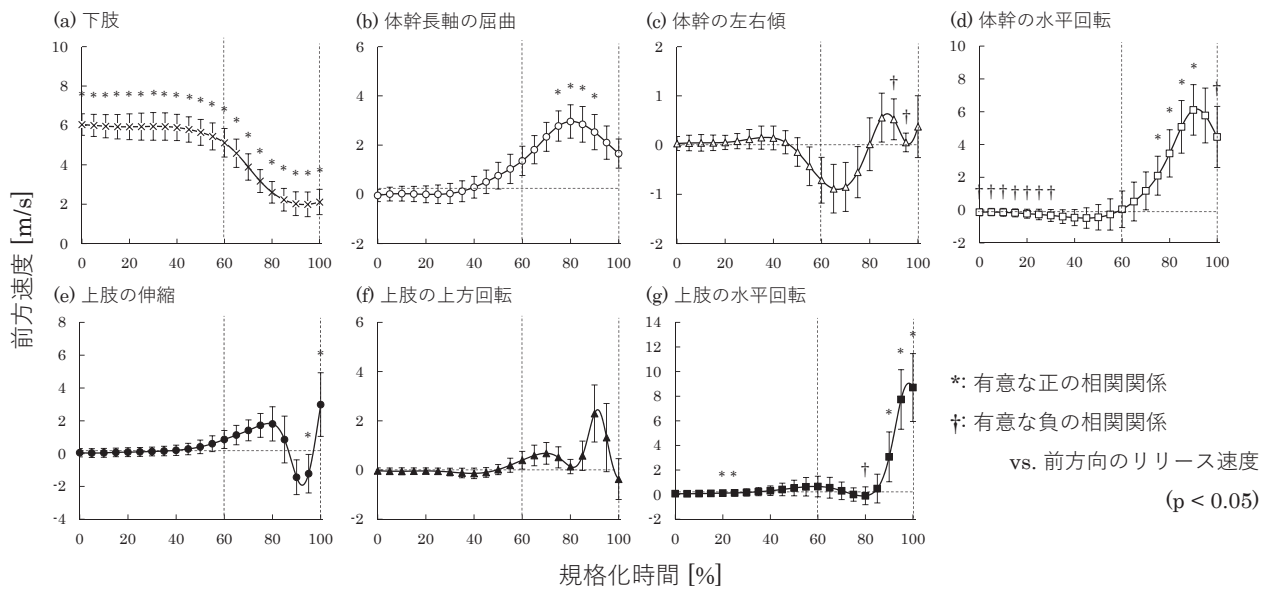


図4 前方方向のリリース速度と前方方向のやり速度に対する身体各部の貢献との相関関係

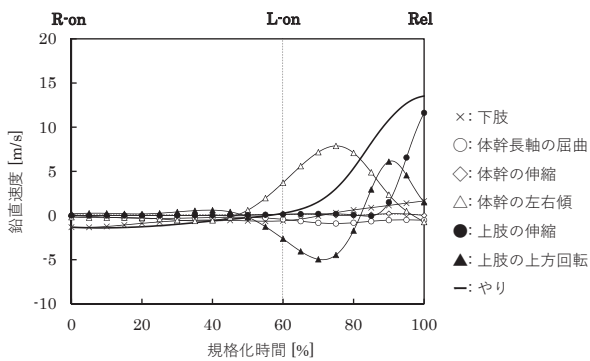


図5 鉛直方向のやり速度に対する身体各部の貢献

いた。

図6には、鉛直方向のリリース速度と鉛直方向のやり速度に対する各動作要因による貢献との相関関係を示している。図4と同様に、体幹の伸縮による貢献は、全ての局面を通して値が0付近であったため、鉛直方向のリリース速度との間における相関係数を算出しなかった。下肢(a)では、規格化時間15-60%において有意な負の相関関係、規格化時間75-100%において有意な正の相関関係が認められた。体幹長軸の屈曲(b)では、規格化時間20-25%において有意な正の相関関係、規格化時

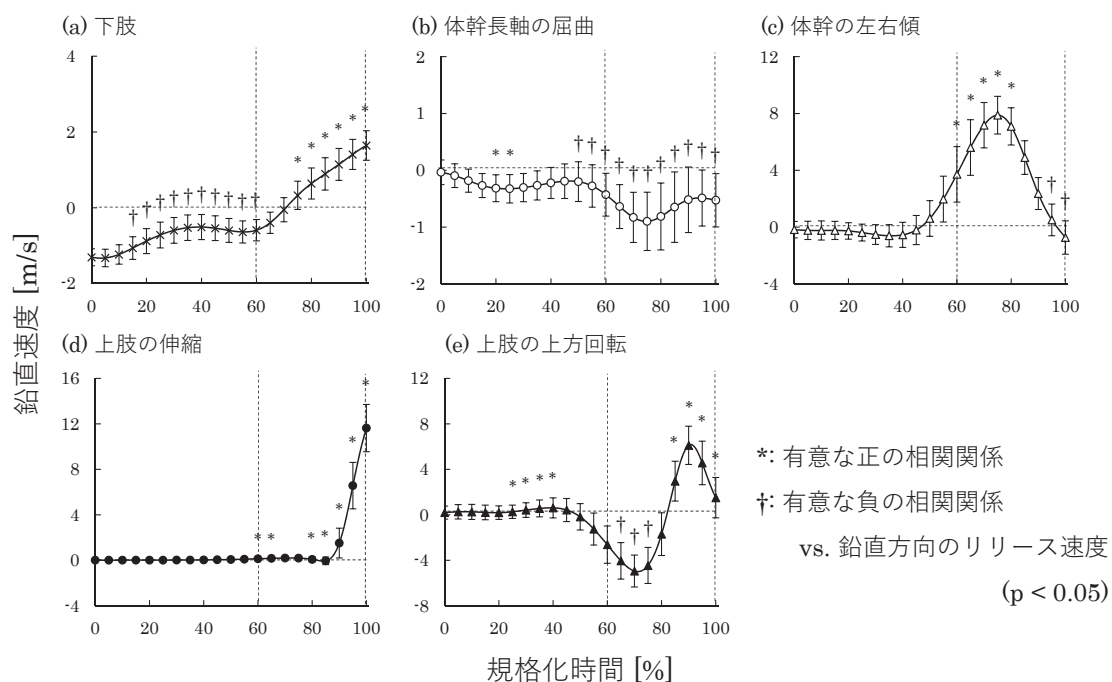


図6 鉛直方向のリリース速度と鉛直方向のやり速度に対する身体各部の貢献との相関関係

間 50-100%において有意な負の相関関係が認められた。体幹の左右傾 (c) では、規格化時間 60-80%において有意な正の相関関係、規格化時間 95-100%において有意な負の相関関係が認められた。上肢の伸縮 (d) では、規格化時間 60-65, 80-100%において有意な正の相関関係が認められた。上肢の上方回転 (e) では、規格化時間 25-45, 85-100%において有意な正の相関関係、規格化時間 65-75%において有意な負の相関関係が認められた。

4. 考 察

やり投げにおいてやりをより遠くに投てきするためには、前および鉛直方向のリリース速度の双方を高めることで、より高い合成のリリース速度を獲得するとともに(瀧川と田内, 2020)、約 30°の適切な角度でリリースすること (Hubbard and Alaways, 1987) が重要である。しかしながら、やり投げに関する先行研究では、前および鉛直方向のリリース速度がどのような動作によってどの程度獲得されていたのかは明らかにされてこなかった。そこで、本研究では相対速度と 3 次元の極座標を用いたモデルによって、多数の男子やり投げ競技者における前および鉛直方向のやり速度に対する身体各部の貢献の仕方を定量化した。

4.1. 前方向のやり速度に対する身体各部の貢献

図 3 には前方向のやり速度と各動作要因によって獲得された前方向のやり速度を示している。前方向のやり速度は準備局面では一定に維持され、L-on 前から Rel にかけて大きく加速されていた。また、前方向のやり速度は準備局面では主に下肢によって獲得されており、L-on 前から投てき局面中盤にかけて体幹長軸の屈曲や体幹の水平回転によって加速され、Rel 直前では上肢の水平回転によってさらに加速されていた。このことは、前方向のやり速度に対する身体各部の貢献の度合いが、下肢から体幹、上肢へと高くなっていたことを示している。こうした傾向は、田内ら (2006) のモデルを用いて世界トップレベルの男子やり投げ競技者 2 名を分析した研究 (田内ら, 2008) や日本トップレベルの男子やり投げ競技者 1 名を分析した研究 (村上ら, 2009) でも確認されている。また、Morris et al. (2001) は、男子やり投げ競技者における投てき動作中の身体各部の運動エネルギーの増減を検討したところ、準備局面では下半身の持つ運動エネルギーが大きく、L-on 後では上半身、Rel 前ではやりの運動エネルギーが増大していたことを報告している。このことを踏まえると、やり投げでは助走で獲得した運動エネルギーを下半身から上半身、やりへと伝達させる動作が行われていたと考えられる。図 3 における結果は、このような動作が行われたことによって生じたことが考えられる。さらに、以下には前方向のリリース速度の高

かった競技者がどの局面でどの動作による貢献を高めることによって、より高い前方向のリリース速度を獲得していたのかを検討した。

全ての局面 (0-100%) を通して、前方向のリリース速度の高い競技者ほど下肢による貢献が高かった (図 4 (a))。やり投げは助走を伴う競技であることから、前方向のやり速度に対する下肢の貢献は、主に助走によって獲得された速度であると考えられる。また、やり投げでは記録の優れた競技者ほど、Rel 時までより高い身体重心速度を有していたことが報告されている (Bartlett et al., 1996; 村上と伊藤, 2003)。このことを踏まえると、前方向のリリース速度の高い競技者ほど、下肢 (助走) によって獲得された前方向のやり速度を Rel 時まで高くすることで、より高い前方向のリリース速度を獲得していたと考えられる。

次に、投てき局面における体幹および上肢の貢献に着目すると、前方向のリリース速度の高い競技者ほど、75-90%時における体幹長軸の屈曲 (図 4 (b)) および水平回転 (図 4 (d))、90-100%時における上肢の水平回転 (図 4 (g))、95-100%時における上肢の伸縮 (図 4 (e)) による貢献が高かった。やり投げでは、投てき局面において右肩、右肘、手首、やりなどの最大速度が近位部から遠位部の順に出現する現象 (運動連鎖) が確認されている (Mero et al., 1994; Campos et al., 2004; 田内ら, 2009; Liu et al., 2010; Liu et al., 2014; 瀧川ら, 2020)。また、やり投げ記録の優れた競技者は、記録の劣者と比較して右腰、右肩、右肘、やりの最大速度が高いという報告もある (Whiting et al., 1991)。これらのことを踏まえると、上述した結果は前方向のリリース速度の高い競技者ほど、前方向のやり速度に対する身体各部の貢献の度合いを、近位部から遠位部にかけて、より高くしていたことを示唆するものである。

4.2. 鉛直方向のやり速度に対する身体各部の貢献

図 5 には鉛直方向のやり速度と各動作要因によって獲得された鉛直方向のやり速度を示している。鉛直方向のやり速度は、準備局面ではほぼ 0m/s であり、L-on 後に大きく加速されていた。また、鉛直方向のやり速度に対する身体各部の貢献は、L-on 付近で体幹の左右傾による貢献が増大したものの、それとほぼ同時に上肢の上方回転が負に貢献していたため、L-on 付近では鉛直方向のやり速度は加速されなかった。投てき局面中盤からは、上肢の上方回転による負の貢献が減少するにつれて、鉛直方向のやり速度が加速されており、Rel 前では上肢の伸縮によって鉛直方向のやり速度がさらに加速されていた。これらのことは、鉛直方向のやり速度は主に体幹と上肢の動作によって獲得されていたことを示唆するものである。そして以下には、鉛直方向のリリース速度の高かった競技者の特徴を前方向と同様に検討した。

L-on 付近では、鉛直方向のリリース速度の高い競技者ほど 60-80% 時における体幹の左右傾による貢献が高く (図 6 (c)), 65-75% 時における上肢の上方回転による負の貢献が高かった (図 6 (e)). この両者の相反する傾向は、鉛直方向のリリース速度の高い競技者ほど体幹の左傾に伴って、右肩の内転や水平外転、外旋動作が行われたために生じたことが推察される。さらに同じ局面では、鉛直方向のリリース速度の高い競技者ほど体幹長軸の屈曲による負の貢献が高かった (図 6 (b)). このことを踏まえると、鉛直方向のリリース速度の高い競技者は、体幹の長軸を左屈させるのに伴って、体幹セグメント (両肩中心と右肩を結んだ線分) を左傾させる動作が生じていた可能性が考えられる。そこで、鉛直方向のリリース速度の高かった者と低かった者の動作を比較するために、図 7 には鉛直方向のリリース速度の低かった者 (Subject A, 鉛直方向のリリース速度: 9.8m/s) と、高かった者 (Subject B, 鉛直方向のリリース速度: 17.8m/s) の体幹セグメントと上肢セグメントを後方から見たスティックピクチャを示した。60-80% 時の動作をみると、鉛直方向のリリース速度の低かった Subject A では体幹セグメントと上肢セグメントがほぼ同時に上方に回転しているのに対して、鉛直方向のリリース速度の高かった Subject B では上肢セグメントの位置が大きく変化せずに体幹セグメントが左下方向にシフトしながら左傾していることが確認できる。このことは、鉛直方向のリリース速度の高い競技者ほど肩のラインに対してグリップをより下方に取り残す動作を行っていたことを示唆するものである。このときの右肩周りの筋群に着目すると、鉛直方向のリリース速度の高い競技者ほど筋がより大きく、速く伸長されていたことが推察される。また、Rel 前では鉛直方向のリリース速度の高

い競技者ほど、80-100% 時における上肢の伸縮 (図 6 (d)) および 85-100% 時における上肢の上方回転 (図 6 (e)) による貢献が高かった。このことは、鉛直方向のリリース速度の高い競技者ほど、右肩周りの筋が大きく引き伸ばされた後に即座に短縮することで大きな力発揮を可能にする、伸長—短縮サイクル (SSC) をより効果的に利用して、上肢の伸縮や上方回転による貢献を高めていたことを示唆するものである。しかしながら、本研究のモデルは投動作における上肢の複雑な動作を 2 つの要因 (前方向に対しては 3 つの要因) によって簡易的に表現しているため、上述した SSC が右肩のどのような運動においてより強調して利用されていたのかは検討できない。そこで、本研究では Subject A および B の右肘の座標値を取得し、小林ら (2012) の手法によって右肩の内転、水平内外転、内外旋の角度および角速度を算出した (図 8)。その結果、上肢の上方回転による負の貢献が増大した時点 (65-75% 時付近) では、Subject B において右肩の水平外転および外旋角速度が増大していたが、Subject A ではその傾向が小さかった。また、田内ら (2010) によると、鉛直方向のリリース速度に優れた男子やり投げ競技者では L-on 付近の体幹の後傾角度が大きかったことが報告されている。これらのことを踏まえると、体幹が後傾した姿勢から、右肩を水平外転および外旋させたことが、L-on 後の上肢の上方回転による負の貢献を増大させる原因となったと考えられる。やり投げに関する先行研究では、右肩周りの筋群における SSC を効果的に利用することが、記録の向上に重要であるとされており (Mero et al., 1994 ; Bartlett et al., 1996 ; 田内ら, 2009), 本研究の結果はこのことが鉛直方向のリリース速度を高めるためにも重要な要因であることを示唆するものである。

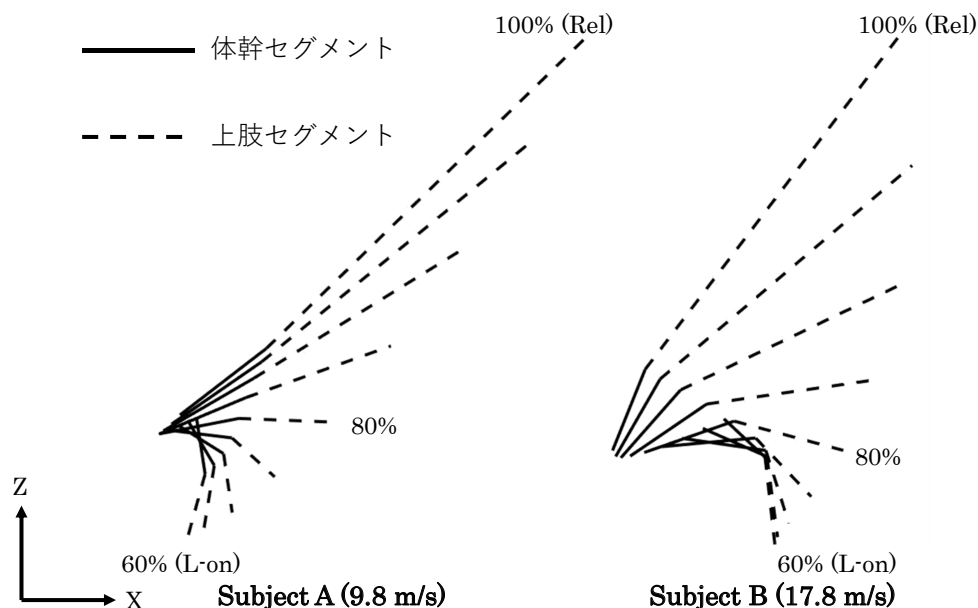


図7 鉛直方向のリリース速度の低かった者と高かった者における体幹セグメントと上肢セグメントのスティックピクチャ (後方から見たもの)

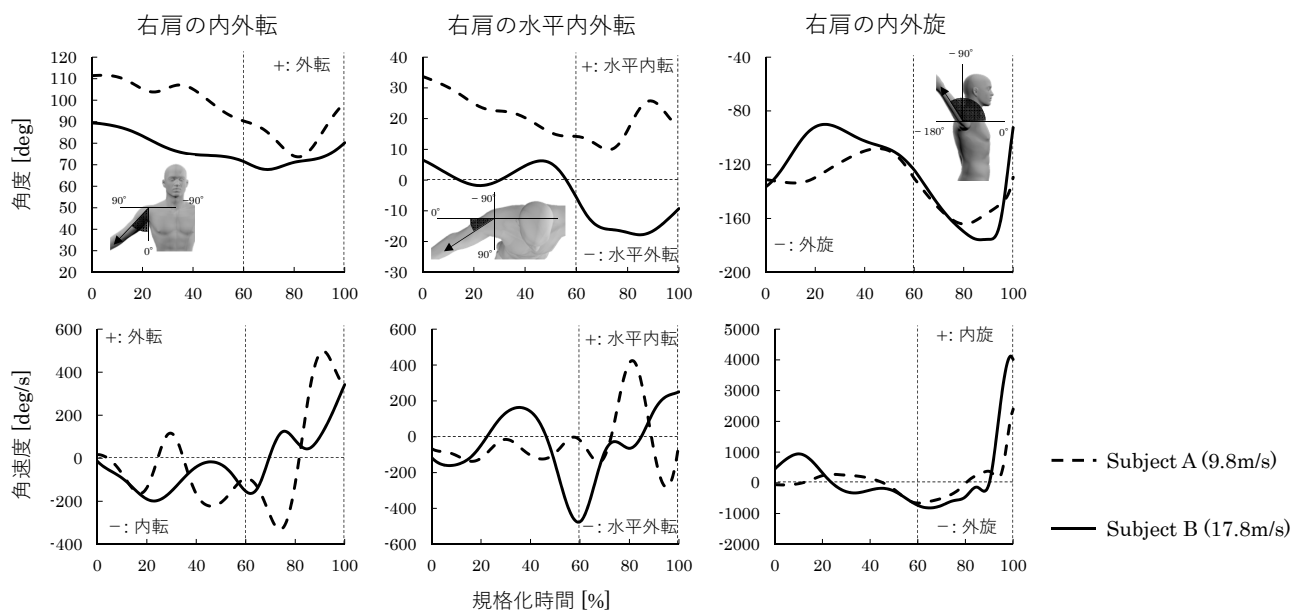


図8 右肩の角度および角速度 (Subject A および B)

L-on 前から Rel までの間 (50-100%) では、鉛直方向のリリース速度の高い競技者ほど体幹長軸の屈曲による負の貢献が高かった (図6 (b))。このことは、鉛直方向のリリース速度の高い競技者ほど、体幹の前傾や左傾などによって体幹をより速く下方に倒していたことを示唆するものである。このような動作は、モデルの評価としては鉛直方向のやり速度をより減速させることになるため、パフォーマンスの向上に対して有益な動作とされないと考えられる。しかし、やり投げでは記録の優れた者ほど投てき局面において体幹の起こし回転を効果的に引き起こしていたことや (野友ら, 1998), Rel 時の体幹の前傾角速度が高かったこと (村上と伊藤, 2003; Murakami et al., 2006) などが報告されている。また、投てき局面における姿勢について着目すると、記録の優れたやり投げ競技者は投てき局面における右肩の水平外転角度が大きかったことや (Makino et al., 2020), やりを体幹に対して大きく後方に残す姿勢をとっていたことが報告されている (Bartlett et al., 1996, 田内ら, 2012)。これらのことを踏まえると、やりを体幹に対して後方に残した姿勢から体幹を下方に倒す動作 (主に体幹の前傾) を行うことは、上肢を上方に回転させる動作となることが推察される。つまり、鉛直方向のやり速度に対する体幹長軸の屈曲による貢献 (両腰の midpoint に対する両肩の midpoint の相対速度) の度合いを負に高くすることは、上肢の上方回転による貢献を高める動作となることが示唆され、より高い鉛直方向のリリース速度の獲得に繋がっていた可能性が考えられる。

ここまで述べてきたように、鉛直方向のやり速度は主に体幹や上肢の動作によって獲得されており (図5),

これらの貢献を高めることがより高い鉛直方向のリリース速度の獲得に重要であることが示された。しかしながら、鉛直方向のリリース速度の高い競技者は、体幹や上肢のみならず、Rel 前 (75-100%) の下肢の貢献も高かった (図6 (a))。このことは、鉛直方向のリリース速度の高い競技者ほど、左膝の伸展などによってより速く全身を鉛直方向に動かしていたことを示唆するものである。やり投げでは投てき局面における左脚全体の起こし回転によって、より高い鉛直方向のリリース速度を獲得することが重要であるものの、リリース時の鉛直方向のやり速度に対する下肢の貢献度はおよそ 12% であることが報告されている (Makino and Tauchi, 2022)。こうしたように、鉛直方向のやり速度に対する下肢の貢献は、度合いは小さいものの、高い鉛直方向のリリース速度を獲得するために重要な要因であることが考えられる。

5. 結 論

本研究の目的は、男子やり投げ競技者における前および鉛直方向のやり速度に対する身体各部の貢献の仕方を明らかにし、前および鉛直方向のリリース速度の高い競技者の特徴を検討することであった。この目的を達成するために、本研究では相対速度と三次元の極座標を用いたモデルによって、115 名の男子やり投げ競技者における前および鉛直方向のやり速度に対する身体各部の貢献の仕方を評価し、各方向のリリース速度の高かった競技者の特徴を検討した。主な結果は以下の通りである。

- (1) 前方向のやり速度は、準備局面では主に下肢によって獲得されており、投てき局面では下肢の貢献が減少するとともに体幹長軸の屈曲および体幹の水平回

転, 上肢の水平回転および上肢の伸縮へと貢献の度合いが高くなっていた。

- (2) 前方向のリリース速度の高い競技者ほど, 全ての局面を通して下肢の貢献が高く, L-on後の体幹長軸の屈曲および体幹の水平回転, Rel前の上肢の伸縮および上肢の水平回転の貢献が高かった。
- (3) 鉛直方向のやり速度は, 主にL-on後の体幹の左右傾とRel前の上肢の伸縮および上肢の上方回転によって獲得されていた。
- (4) 鉛直方向のリリース速度の高い競技者ほど, 投てき局面を通して体幹長軸の屈曲の負の貢献が高く, L-on後の体幹の左右傾の貢献および上肢の上方回転の負の貢献が高かった。そして, Rel前では下肢, 上肢の伸縮, 上肢の上方回転の貢献が高かった。

これらの結果は, やり投げに関する先行研究の結果と大きく矛盾しないことが確認されたことから, 本研究で用いたモデルは男子やり投げ競技者の投てき動作を適切に評価できていたと考えられる。特に, やり投げにおいて鉛直方向のやり速度が, 全身のどのような動作によって獲得されていたのかはこれまで定量化されておらず, 本研究によってはじめて明らかとなった知見といえる。

文献

- Bartlett, R., Müller, E., Lindinger, S., Brunner, F. and Morris, C. (1996) Three-dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill levels. *J. Appl. Biomech.*, 12: 58-71.
- Campos, J., Brizuela, G. and Ramón, V. (2004) Three-dimensional kinematic analysis of elite javelin throwers at the 1999 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 19: 47-57.
- Hubbard, M. and Alaways, L. W. (1987) Optimum release conditions for the new rules javelin. *Int. J. Sport Biomech.*, 3: 207-221.
- 小林育斗・阿江通良・宮崎明世・藤井範久 (2012) 優れた投能力をもつ小学生の投動作の特徴とその標準動作, *体育学研究*, 57: 613-629.
- Komi, P. V. and Mero, A. (1985) Biomechanical analysis of Olympic javelin throwers. *Int. J. Sport Biomech.*, 1: 139-150.
- Liu, H., Leigh, S. and Yu, B. (2010) Sequence of upper and lower extremity motions in javelin throwing. *J. Sports Sci.*, 28 (13): 1459-1467.
- Liu, H., Leigh, S. and Yu, B. (2014) Comparison of sequence of trunk and arm motions between short and long official distance groups in javelin throwing. *Sports Biomech.*, 13 (1): 17-32.
- Makino, M., Hatakeyama, S. and Ae, M. (2020) An analysis of the throwing technique of college male javelin throwers in a competition. *ISBS Proceedings Archive*, Vol. 38: Iss. 1, Article 147.
- Makino, M. and Tauchi, K. (2022) Kinematic contribution of the lower limb to vertical javelin velocity in male javelin throwers. *ISBS Proceedings Archive*, Vol. 40: Iss 1, Article 97.
- Mero, A., Komi, P. V., Korjus, T., Navarro, E. and Gregor, R. J. (1994) Body segment contributions to javelin throwing during final thrust phases. *J. Appl. Biomech.*, 10: 166-177.
- 宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦 (1996) 野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する3次元的研究. *体育学研究*, 41: 23-37.
- Morris, C., Bartlett, R. and Navarro, E. (2001) The function of blocking in elite javelin throwers: a re-evaluation. *J. Hum. Mov. Stud.*, 41: 175-190.
- 村上雅俊・伊藤 章 (2003) やり投げのパフォーマンスと動作の関係. *バイオメカニクス研究*. 7: 92-100.
- Murakami, M., Tanabe, S., Ishikawa, M., Isolehto, J., Komi, P. V. and Ito, A. (2006) Biomechanical analysis of the javelin at the 2005 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 21: 67-80.
- Murakami, M., Tanabe, S., Ishikawa, M. and Ito, A. (2017) The relationship between approach run kinematics and javelin throwing performance. *Asian Journal of Coaching Science*, 1: 1-14.
- 村上幸史・田内健二・遠藤俊典・村上雅俊・本道慎吾・畑瀬 聡 (2009) 男子やり投日本トップ選手における投てき動作の縦断的評価. *陸上競技学会誌*, 7 (1): 18-26.
- 野友宏則・富樫時子・阿江通良 (1998) 記録水準の異なる選手のやり投げ動作に関するキネマティクスの研究. *陸上競技研究*, 32: 32-39.
- Sprigings, E., Marshall, R., Elliott, B. and Jennings, L. (1994) A three-dimensional kinematic method for determining the effectiveness of arm segment rotations in producing racquet-head speed. *J. Biomech.*, 27(3): 245-254.
- 瀧川寛子・田内健二 (2020) やり投げの投てき記録に影響を及ぼす動作要因における男女差の検討. *体育学研究*, 65: 595-606.
- 瀧川寛子・堀内 元・田内健二 (2020) 女子やり投げ競技者における成功試技と失敗試技とが生じる動作要因の検討. *体育学研究*, 65: 143-152.
- 田内健二・藤田善也・遠藤俊典 (2012) 男子やり投げにおける投てき動作の評価基準. *バイオメカニクス研究*, 16(1): 2-11.
- 田内健二・村上雅俊・遠藤俊典・阿江通良 (2008) 世界

- 一流男子やり投選手における技術分析—槍速度に対する身体各部位の貢献について—. 陸上競技研究紀要, 4: 120-123.
- Tauchi, K., Murakami, M., Endo, T., Takesako, H. and Gomi, K. (2009) Biomechanical analysis of elite javelin throwing technique at the 2007 IAAF World Championships in Athletics. Bulletin of Studies in Athletics of JAAF, 5: 143-149.
- 田内健二・村上雅俊・遠藤俊典・竹迫 寿・五味宏生・藤井範久 (2010) 世界一流男子やり投げの投てき技術. 第 11 回世界陸上競技選手権大会日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班報告書世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術, 176-189.
- 田内健二・村上雅俊・高松潤二・阿江通良 (2006) 砲丸投げにおける砲丸速度に対する身体各部位の貢献—世界レベル選手と日本レベル選手との比較—. 陸上競技研究紀要, 2: 65-73.
- 田内健二・村上幸史・藤田善也・磯 繁雄 (2009) やり投の日本トップ選手における動作分析データの活用事例—世界トップレベルとの相違点を提示して—. スポーツパフォーマンス研究, 1: 151-161.
- 塚田卓巳・佐分慎弥・田内健二 (2014) U-19 日本トップレベルの女子やり投選手における投てき動作の特徴—斉藤真理菜選手と梶原美波選手との比較—. 陸上競技研究紀要, 10: 118-121.
- Whiting, W. C., Gregor, R. J. and Halushka, M. (1991) Body segment and release parameter contributions to New-rules javelin throwing. Int. J. Sport Biomech., 7: 111-124.
- 山本大輔・村上雅俊・塚田卓巳・加藤忠彦・瀧川寛子 (2019) 堤選手における円盤投動作の特徴—61.64m と 53.15m の比較—. 陸上競技研究紀要, 15: 261-264.
- 山本大輔・瀧川寛子・野中愛理・村上雅俊 (2020) 2020 年日本選手権大会における女子円盤投げ上位 3 名のキネマティクス. 陸上競技研究紀要, 16: 207-212.
-

箱根駅伝出走ランナーと非出走ランナーの エネルギー代謝能力の比較

丹治史弥^{1,2)}, 西出仁明^{1,2)}, 栗原 俊³⁾, 両角 速^{1,2)}, 宮崎誠司^{1,2)}

Comparison of energy metabolism capacities between runners
and non-runners of the Hakone Ekiden

Fumiya TANJI^{1,2)}, Noriaki NISHIDE^{1,2)}, Shun KURIHARA³⁾, Hayashi MOROZUMI^{1,2)}, Seiji MIYAZAKI^{1,2)}

Abstract

This study aimed to investigate the relationship between long-distance running performance, energy metabolism capacities, and energy metabolism speeds in highly trained male distance runners. In addition, we examined the characteristics of energy metabolism capacities and energy metabolism speeds of the Hakone-Ekiden runners. Sixteen university long-distance runners (seasonal best IAAF score, 1031 ± 54 points) measured the energy metabolism capacities and energy metabolism speeds. Nine of the subjects were the Hakone-Ekiden runners in 2021 (Hakone group), they won the XXth place in the 97th Hakone-Ekiden race, and the others were the non-Hakone-Ekiden runners (non-Hakone group). A significantly correlation relationship in running performance was observed with maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$; $r = 0.59$ and $P < 0.05$), but not with running economy (RE; $r = 0.02$), lactate threshold (LT) intensity ($r = -0.02$), maximal blood lactate concentration ($r = -0.01$), LT speed ($r = 0.35$) and onset of blood lactate accumulation (OBLA) speed ($r = 0.38$). The Hakone group had significantly superior running performance, RE, and OBLA speed compared to the non-Hakone group. However, some runners of the non-Hakone group have higher running performance than some runners of the Hakone group. These results suggest that $\dot{V}O_{2max}$ is an important energy metabolism capacity for distance running performance, even in highly trained distance runners. In addition, it is suggested that runners with superior RE and OBLA speed were selected as the Hakone-Ekiden members, even if their running performance was equal or inferior.

キーワード：箱根駅伝，走パフォーマンス，最大酸素摂取量，ランニングエコノミー，乳酸性代謝閾値

I. 緒 言

東京箱根間往復大学駅伝競走（箱根駅伝）は、読売新聞東京本社前から箱根町芦ノ湖を往路 107.5km、復路 109.6km をそれぞれ 5 区間、計 217.1km を 10 区間で競う、学生の駅伝競走である。関東学生陸上競技連盟に加盟し

ている大学だけが出場資格を有する地方大会であるものの、正月の開催であること、全国ネットで完全放送されていることなどから、箱根駅伝は老若男女から関心の高いビックイベントである。箱根駅伝は全区間が 20km を超える学生長距離界で最長の駅伝であり、トラック競技長距離種目（5,000m や 10,000m）の結果から想定される以上のパフォーマンスを発揮するランナーや、逆に想定通りのパフォーマンスを発揮できないランナーもしばしば見受けられ、箱根駅伝特有のドラマを生み出す。そのため、箱根駅伝に出走するランナーは必ずしもチーム内でのトラック競技長距離種目のパフォーマンスが高いランナー上位 10 名ではないことが多く、特異的なエネルギー代謝能力を有している可能性がある。

長距離走パフォーマンスと密接な関係にあるエネルギー代謝能力として最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2max}$ ）が知られている（Costill et al., 1973）。しかしながら、競技力が高いランナーは優れた $\dot{V}O_{2max}$ を有し、かつ密接な値であることから、 $\dot{V}O_{2max}$ の優劣で長距離走パフォーマンスを推定できないことが指摘されている（Saunders et al., 2010）。そのため、競技力が高いランナーにおいてはランニングエコノミー（RE）の優劣も重要となる。例えば、日本人ランナーとケニア人ランナーのエネルギー代謝能力を比較すると、 $\dot{V}O_{2max}$ は両者で同等である一方、RE はケニア人ランナーで優れていることが報告されている（榎本ほか，2008）。これらのことから、長距離走パフォーマンスを推定するためには $\dot{V}O_{2max}$ と RE の両方を評価することが求められる（Ingham et al., 2008; Tanji et al., 2017）。また、Joyner（1991）は $\dot{V}O_{2max}$

1) 東海大学体育学部 Department of Competitive Sports, Tokai University

〒259-1295 神奈川県平塚市北金目 4-1-1

2) 東海大学スポーツ医科学研究所 Sport Medical Science Research Institute, Tokai University

〒259-1295 神奈川県平塚市北金目 4-1-1

3) 東海大学付属甲府高等学校 Tokai University Kofu Senior High School

〒400-0063 山梨県甲府市金竹町 1-1

と RE に加えて乳酸が蓄積され始める運動強度である乳酸性代謝閾値 (LT) を考慮することでフルマラソンパフォーマンスを推定できるとしている。800m 走および 1,500m 走において LT 強度はパフォーマンスにとってそれほど重要なエネルギー代謝能力ではないようであるが (Ingham et al., 2008; Tanji et al., 2017), 20km を超える箱根駅伝に向けてトレーニングを実施しているランナーにおいては明らかではない。

他方、競技レベルの高い箱根駅伝ランナーを対象とし、エネルギー代謝能力を示した研究では血中乳酸濃度に着目した報告が多い (大後ほか, 1999; 黄ほか, 2009; 吉野ほか, 2017)。大後ほか (1999) は 2 か年における箱根駅伝出走ランナーの LT 時の走スピード (LT スピード) を調査し、出走ランナーの平均 LT スピードが高い年度において箱根駅伝で優れた成績を収めたと報告している。黄ほか (2009) は、箱根駅伝出走経験のあるランナーにおいて 10,000m 走およびハーフマラソン直後の血中乳酸濃度とそれらのフィニッシュタイムの間に有意な負の相関関係があることを示した。吉野ほか (2017) は箱根駅伝予選会出場選手などのランナーにおける血中乳酸濃度が 4mmol/L の走スピード (OBLA スピード) が 20 km 走パフォーマンスと強い相関関係を示すことを報告している。しかしながら、 $\dot{V}O_{2\max}$ と 20km 走パフォーマンスの間には相関関係が認められないことを課題に挙げ、RE を評価する必要があることを示唆している (吉野ほか, 2017)。これらのように、競技力が高い箱根駅伝ランナーにとって RE は重要な能力である可能性があるものの、そのデータを $\dot{V}O_{2\max}$ などと合わせて示した報告は見当たらない。近年、エネルギー代謝能力を測定できる施設を備えた大学も多く、定期的に選手の $\dot{V}O_{2\max}$ や RE を評価していると推測するが、そのほとんどが公表されていないと考えられる。一方、LT スピードや OBLA スピードはエネルギー代謝能力によって決定されるため、エネルギー代謝能力の指標と区別する必要があるだろう。しかしながら、特別な施設を必要とせず、比較的手軽に評価できる指標であるため現場レベルでも用いられていると考えられる。

そこで本研究は、競技レベルの高い男性大学生長距離ランナーを対象に長距離走パフォーマンスとエネルギー代謝能力、LT スピードおよび OBLA スピードの関係を明らかにした。さらにそのランナーのうち箱根駅伝に出走したランナーと非出走ランナーで比較することで、箱根駅伝に出走したランナーのエネルギー代謝能力、LT スピードおよび OBLA スピードの特徴を検討した。

II. 方 法

1. 被験者

大学陸上競技部に所属する男性長距離ランナーのうち、研究を実施する 4 か月以内の 5,000m 走または 10,000m 走のシーズン最高記録が World Athletics の定める IAAF score (SpirieV, 2017) の 900 points を超える選手を対象に本研究の意義・目的を説明し、同意の得られた 16 名 (年齢 20.2 ± 1.2 歳; 身長, 172.5 ± 5.1 cm; 体重, 56.1 ± 4.8 kg; 体脂肪率, $11.5 \pm 2.5\%$) が本研究に参加した (表 1)。被験者の 5,000m 走または 10,000m 走のシーズン最高記録はそれぞれ $14:01.9 \pm 10.7$ (n=14) および $29:07.1 \pm 48.8$ (n=12) であった。本研究のすべての被験者が 5,000m 走または 10,000m 走の両種目のシーズン記録を有しているわけではなかった。そこで、それぞれのシーズン最高記録を IAAF score にて得点化し、いずれか高い種目の得点を走パフォーマンスの変数として採用する方法を用いた。IAAF score は各種目におけるパフォーマンスを明確に点数化しており、競技間の比較や同じ変数としての扱いを可能にする。これまでに多くの先行研究が、複数の種目 (例えば、800m 走からフルマラソン) にまたがる被験者を対象とする際に、それぞれの種目における走タイムを IAAF score にて得点化することで 1 つのパフォーマンスの変数として扱い、生理学的変数や解剖学的変数などとの関係を調査している (Etxegarai et al., 2018; Legaz and Eston, 2005; Legaz-Arrese et al., 2009; Mooses et al., 2015; Tomita et al., 2020)。被験者 16 名のうち、9 名が箱根駅伝に出走したランナー (箱根群) であり、7 名が箱根駅伝に出走しなかったランナー (非箱根群) となった。また、箱根群の

表 1 箱根群および非箱根群の被験者特性

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)
箱根群 (n=9)	20.6 ± 1.3	171.9 ± 6.2	55.2 ± 5.5	11.2 ± 2.0
非箱根群 (n=7)	19.7 ± 1.0	173.5 ± 3.5	57.4 ± 3.6	11.8 ± 3.3
全体 (n=16)	20.2 ± 1.2	172.5 ± 5.1	56.1 ± 4.8	11.5 ± 2.5

うち、往路出走者が5名、復路出走者が4名であった。なお、当日変更を含む出走していない箱根駅伝エントリー選手は非箱根群に含まれなかった。被験者は少なくとも箱根駅伝の直近3か月間はケガや病気などがなく、順調にトレーニングを消化していた。箱根群が出走した2021年1月2日および3日の箱根駅伝（第97回大会）ではXX時間XX分XX秒で総合XX位であった。

本研究はXX大学研究倫理委員会において承認を受けた後、被験者には書面および口頭にて実験の概要および危険性について説明し、書面への同意を持って実験を実施した（承認番号：20084）。

2. 測定プロトコル

非箱根群は箱根駅伝往路の3日前または4日前に、箱根群は箱根駅伝出走後1週間以上の休息期間を空けてエネルギー代謝測定テストを実施した。エネルギー代謝測定テストは傾斜1%に設定したトレッドミル（Pulsar; h/p/cosmos）上での多段階漸増負荷走行によって評価した。被験者は1ステージ3分（休息1分）の走行を血中乳酸濃度が4 mmol/Lを超えるまで繰り返した。第1ステージの走スピードを230m/minに設定し、ステージごとに20m/min走スピードを漸増させた。血中乳酸濃度が4mmol/Lを超えたとき、3分間の休息を設け、その後、血中乳酸濃度が4mmol/Lを超えたステージの走スピードから20m/min落とした走スピードで走行を開始させた。1分ごとに10m/min走スピードを漸増させ、疲労困憊まで走行を持続させた。

3. 分析項目と分析方法

エネルギー代謝測定テストの測定にはEXPモードに設定した呼気ガス測定器（AE310-S エアロモニタ；ミナト医科学社）および血中乳酸分析器（Lactate Pro 2; アークレイ社）を用いた。血中乳酸濃度はテスト開始直前、各ステージ走行終了直後および疲労困憊後に分析した。 $\dot{V}O_2\max$ はエネルギー代謝測定テストを通して最も高い30秒平均の酸素摂取量を採用した。REはTanji et al. (2017)の方法を用いて、250 m/minの走スピード走行時の酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）および呼吸交換比（RER）によって以下の式の通りに算出した。

$$RE \text{ (kcal/kg/km)} = [20202 \text{ J/O}_2\text{L} - (0.82 - RER) \times 50 \text{ J/O}_2\text{L} \times 100] \times \dot{V}O_2 \div 1000 \div 250 \text{ m/min} \times 0.239 \text{ cal/J}$$

なお、250m/minの走スピード走行時の血中乳酸濃度（bLa）が2.0mmol/Lを超えたとき、安静時の血中乳酸濃度（bLa_{rest}）を用いて、以下の式で求められる無酸素性エネルギー消費量（kcal/kg/km）をREに加算した。

$$\text{無酸素性エネルギー消費量 (kcal/kg/km)} = (bLa - bLa_{\text{rest}}) \times 60 \text{ J/kg/mM} \div 3 \text{ min} \div 250 \text{ m/min} \times 0.239 \text{ cal/J}$$

250m/minはステージ走において走行した走スピードのうち、すべての被験者のLTスピードを超えない最も高い走スピードであった。この算出方法はエネルギー供給システムにおける酸化系のエネルギー基質を考慮することに加えて解糖系のエネルギー産生も考慮できるため、酸素摂取量のみの分析よりも詳細にREを算出できるとされている（Tanji et al., 2017）。LTスピードおよびOBLAスピードは各ステージにおける血中乳酸濃度から乳酸分析ソフトウェア（Lactate-E; Newell et al., 2007）を用いて算出した。また、疲労困憊後の血中乳酸濃度を最大血中乳酸濃度として採用した。

4. 統計分析

データはすべて平均値±標準偏差で示した。5,000m走タイム、10,000m走タイムおよびIAAF scoreと各エネルギー代謝能力、LTスピードおよびOBLAスピードとの関係を明らかにするためにPearsonの積率相関係数を用いて分析した。箱根群と非箱根群のエネルギー代謝能力、LTスピードおよびOBLAスピードを比較するために対応のないt検定およびCohen's (1988)の効果量（d）を算出した。加えて、箱根群のうち、往路出走者と復路出走者のIAAF score、エネルギー代謝能力、LTスピードおよびOBLAスピードを比較するために効果量（d）を算出した。効果量の解釈はd < 0.20のときVery small, 0.20 ≤ d < 0.60のときsmall, 0.60 ≤ d < 1.20のときmoderate, 1.20 ≤ dのときlargeであった。統計分析には統計解析ソフト（SPSS Statistic 26; IBM社）を用いて算出し、統計的有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結 果

被験者全体、箱根群および非箱根群におけるIAAF score、 $\dot{V}O_2\max$ 、RE、LT強度および最大血中乳酸濃度を表2に示した。また、REを算出するために用いたbLa_{rest}、250m/minの走スピード走行時の $\dot{V}O_2$ 、RERおよびbLaの値を表3に示した。加えて、LTスピードおよびOBLAスピードを表4に示した。

被験者全体における5,000m走タイムはOBLAスピードにおいて有意な負の相関関係が認められ（r = -0.59; P < 0.05）、10,000 m走タイムは $\dot{V}O_2\max$ との間に有意な負の相関関係（r = -0.64; P < 0.05）が認められたが、その他の変数間には有意な相関関係が認められなかった（表5）。5,000 m走または10,000 m走のシーズン最高記録を得点化したIAAF scoreは $\dot{V}O_2\max$ との間に有意な正の相関関係（r = 0.59; P < 0.05）が認められた一方、REとの間には有意な相関関係が認められなかった（r = 0.02; P > 0.05; 図1）。さらに、LT強度（r = -0.02）、

表 2 IAAF score およびエネルギー代謝能力の平均値 (±標準偏差)

	IAAF score (points)	$\dot{V}O_{2\max}$ (mL/kg/min)	RE (kcal/kg/km)	LT (% $\dot{V}O_{2\max}$)	最大血中 乳酸濃度 (mmol/L)
箱根群 (n=9)	1054±43	78.9±6.1	0.93±0.07	76.6±7.5	11.1±3.9
非箱根群 (n=7)	1001±56	73.7±7.2	1.04±0.10	78.4±7.7	10.6±3.4
全体 (n=16)	1031±54	76.6±6.9	0.98±0.10	77.4±7.4	10.9±3.6
<i>P</i> value	<0.05	0.14	<0.05	0.64	0.82
Effect size (<i>d</i>)	1.06	0.77	1.27	0.24	0.12

表 3 安静時血中乳酸濃度、250m/min の走スピード走行時の酸素摂取量、呼吸交換比および血中乳酸濃度の平均値 (±標準偏差)

	bLa _{rest} (mmol/L)	$\dot{V}O_2$ (mL/kg/min)	RER ($\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$)	bLa (mmol/L)
箱根群 (n=9)	1.3±0.2	46.7±3.0	0.93±0.02	1.6±0.5
非箱根群 (n=7)	1.4±0.2	51.9±5.0	0.94±0.04	1.8±0.5
全体 (n=16)	1.4±0.2	49.0±4.7	0.93±0.03	1.7±0.5

Notes: bLa_{rest}, 安静時血中乳酸濃度; $\dot{V}O_2$, 酸素摂取量; RER, 呼吸交換比;
 $\dot{V}CO_2$, 二酸化炭素排出量; bLa 血中乳酸濃度

表 4 LT スピードおよび OBLA スピードの平均値 (±標準偏差)

	LT スピード (m/min)	OBLA スピード (m/min)
箱根群 (n=9)	303±19	332±12
非箱根群 (n=7)	282±22	303±17
全体 (n=16)	294±22	319±20
<i>P</i> value	0.06	<0.05
Effect size (<i>d</i>)	1.04	1.90

表 5 5,000 m 走および 10,000 m 走タイムとエネルギー代謝能力、
LT スピードおよび OBLA スピードとの間の相関係数

	5,000 m (n=14)	10,000 m (n=12)
$\dot{V}O_{2\max}$	-0.38	-0.64*
RE	0.09	0.07
LT	-0.15	0.02
最大血中乳酸濃度	0.13	0.05
LT スピード	-0.44	-0.43
OBLA スピード	-0.56*	-0.46

Notes: *, $P < 0.05$.

最大血中乳酸濃度 ($r = -0.01$), LT スピード ($r = 0.35$) および OBLA スピード ($r = 0.38$) は IAAF score との間に有意な相関関係が認められなかった ($P > 0.05$; 図 2 および図 3).

箱根群と非箱根群の IAAF score を比較すると, 箱根群で有意に高い値であり, 効果量は moderate であった (表 2). IAAF score の範囲は箱根群で 1006points から 1118points であり, 非箱根群は 933points から 1067points であった. エネルギー代謝能力を比較すると, RE は箱根群で有意に低い値であり, 効果量は large であったが, $\dot{V}O_{2\max}$, LT 強度および最大血中乳酸濃度は両群で有意な差が認められず, 効果量はそれぞれ moderate, small および Very small であった. LT スピードおよび OBLA スピードを比較すると, OBLA スピードは箱根群で有意に高い値が認められ, 効果量は large であった (表 4). 一方, LT スピードは両群で有意な差が認められず, 効果量は moderate であった.

箱根群を往路出走者と復路出走者に分けた IAAF

score, エネルギー代謝能力, LT スピードおよび OBLA スピードの値を表 6 に示した. 往路出走者と復路出走者を比較すると, IAAF score および $\dot{V}O_{2\max}$ の効果量がそれぞれ large および moderate であり, その他の指標では very small または small であった.

IV. 考 察

本研究は, 競技レベルの高い男性大学生長距離ランナーを対象に長距離走パフォーマンスとエネルギー代謝能力, LT スピードおよび OBLA スピードの関係を明らかにした. また, 箱根駅伝に出走したランナーと非出走ランナーで比較し, 箱根駅伝に出走したランナーのエネルギー代謝能力, LT スピードおよび OBLA スピードの特徴を検討した. 本研究において得られた主な結果は以下の通りである. 1) 5,000m 走または 10,000 m 走のシーズン最高記録から算出される IAAF score や 10,000m 走タイムは $\dot{V}O_{2\max}$ との間に有意な相関関係が認められたが, RE, LT 強度, 最大血中乳酸濃度, LT スピードお

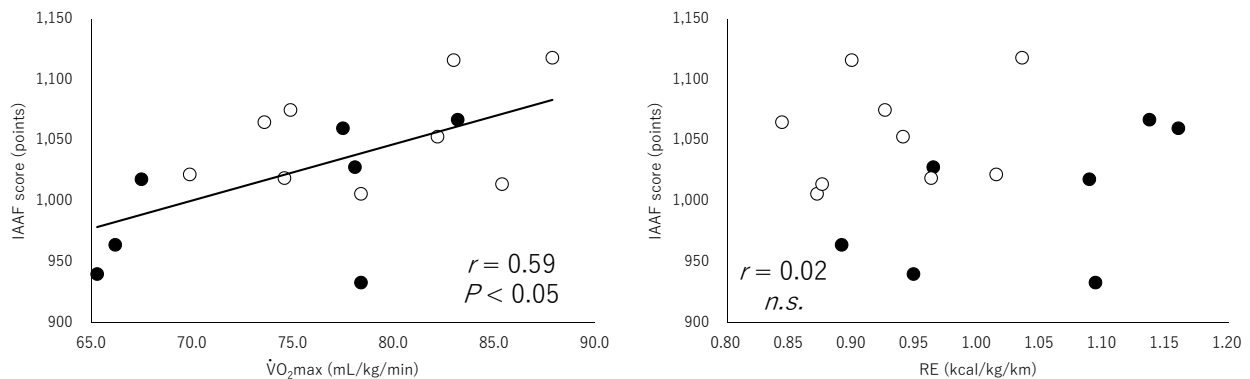


図 1 最大酸素摂取量 (左) およびランニングエコノミー (右) と IAAF score の関係

Notes: ○, 箱根群 (n=9); ●, 非箱根群 (n=7)

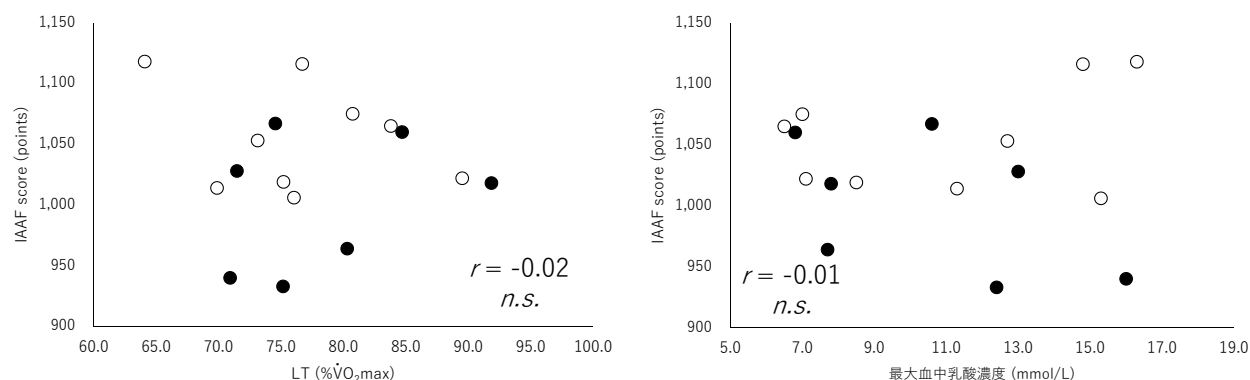


図2 乳酸性代謝閾値（左）および最大血中乳酸濃度（右）と IAAF score の関係

Notes: ○, 箱根群 (n=9); ●, 非箱根群 (n=7)

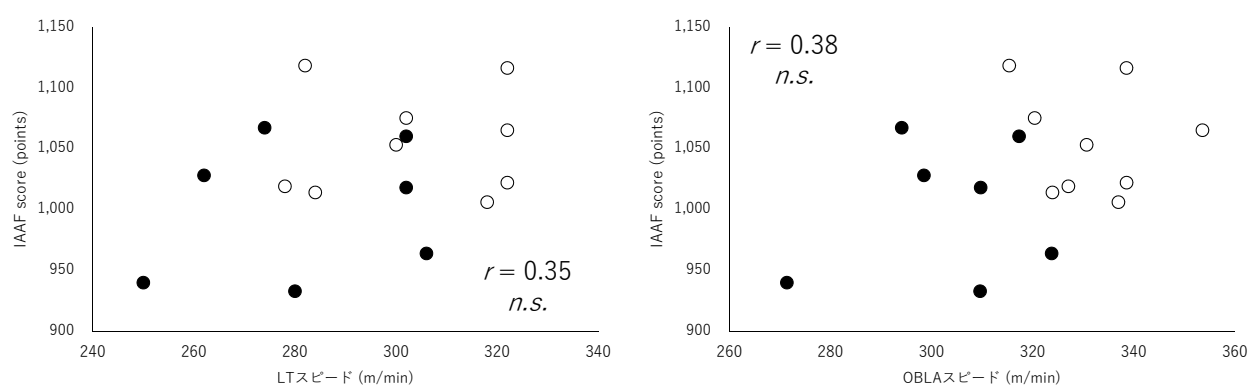


図3 LT スピード（左）および OBLA スピード（右）と IAAF score の関係

Notes: ○, 箱根群 (n=9); ●, 非箱根群 (n=7)

表6 往路出走者および復路出走者の IAAF score、エネルギー代謝能力、LT スピードおよび OBLA スピードの平均値（±標準偏差）および効果量

	往路出走者(n=5)	復路出走者(n=4)	Effect size (<i>d</i>)
IAAF score (points)	1078 ± 43	1025 ± 20	1.58
$\dot{V}O_{2\max}$ (mL/kg/min)	81.0 ± 6.4	76.3 ± 5.3	0.80
RE (kcal/kg/km)	0.92 ± 0.07	0.95 ± 0.06	0.47
LT (% $\dot{V}O_{2\max}$)	75.0 ± 8.0	78.5 ± 7.5	0.44
最大血中乳酸濃度 (mmol/L)	11.2 ± 4.4	10.9 ± 3.8	0.07
LT スピード (m/min)	302 ± 20	305 ± 20	0.11
OBLA スピード (m/min)	330 ± 16	333 ± 5	0.25

よび OBLA スピードとの間に有意な相関関係が認められなかった。2) 箱根群は、必ずしも IAAF score の高い上位 10 名が選出されておらず、非箱根群に比べて RE および OBLA スピードが有意に優れていた。

1. 走パフォーマンスとエネルギー代謝能力の関係

$\dot{V}O_{2\max}$ は、70 mL/kg/min 程度を超えると優れた水準にあると評価され、それ以上の $\dot{V}O_{2\max}$ の改善よりも RE を改善することが走パフォーマンスの向上には望ましいと主張されている (丹治・鍋倉, 2017)。また、丹治・鍋倉 (2017) は、RE を改善した際には $\dot{V}O_{2\max}$ は低下するため、再び $\dot{V}O_{2\max}$ を改善する必要があるとしている。丹治・鍋倉 (2017) が対象とした中長距離ランナー (IAAF score = 828.4 ± 113.4 points) に比べて高い IAAF score を有した本研究の長距離ランナーでは、10%以上優れた RE かつ、70mL/kg/min よりも 10%程度高い $\dot{V}O_{2\max}$ が示された。 $\dot{V}O_{2\max}$ が 70 mL/kg/min という値は 1 つの基準となるかもしれないが、さらに優れた走パフォーマンスの獲得には優れた RE だけでなく、70mL/kg/min を超える $\dot{V}O_{2\max}$ が求められると推察される。

これまで、競技レベルの高いランナーの長距離走パフォーマンスは $\dot{V}O_{2\max}$ と強い相関関係が認められず、RE との間に強い相関関係が認められると報告されてきた (Conley and Krahenbuhl, 1980; Tanji et al., 2017)。しかし本研究では、トラック長距離種目である 5,000m 走または 10,000m 走のシーズン最高記録の IAAF score や 10,000m 走タイムと RE の間には有意な相関関係が認められず、 $\dot{V}O_{2\max}$ との間に有意な相関関係が認められた。この結果は、競技レベルの高いランナーにおいても $\dot{V}O_{2\max}$ の優劣が長距離走パフォーマンスを決定することを示しており、改めて $\dot{V}O_{2\max}$ が軽視できないエネルギー代謝能力であると示唆される。一方、RE は走パフォーマンスとの有意な相関関係が認められなかったが、先行研究 (丹治・鍋倉, 2017) と比較しても優れた値であった。したがって、 $\dot{V}O_{2\max}$ と RE のどちらか一方が重要な能力というわけではなく、両指標を向上させていく必要があると考えられる。

LT 強度や最大血中乳酸濃度は IAAF score との間に有意な相関関係は認められなかった。LT 強度はフルマラソンパフォーマンスにとって重要なエネルギー代謝能力であるとされている (Joyner, 1991; Joyner et al., 2011)。しかし、800m 走および 1,500m 走パフォーマンス (Ingham et al., 2008; Tanji et al., 2017) と同様に、本研究でも 5,000 走および 10,000m 走パフォーマンスに重要なエネルギー代謝能力と示されなかった。ハーフマラソンまでの長距離種目では、運動中の血糖値は低下せず、糖は枯渇しない (八田, 2011)。したがって、糖の利用が高まる運動強度の優劣はトラック長距離種目の走パフォーマンスを反映しないと考えられる。

糖を利用するためには解糖系のエネルギー供給システムによる ATP の再合成が生じる。解糖系によってグリコーゲンまたはグルコースから分解されたピルビン酸のうち、ミトコンドリアマトリックスに入りきらなかった分が乳酸となり、血中に蓄積される。つまり、最大血中乳酸濃度は解糖系による ATP 産生の結果を反映していると考えられる。800m 走パフォーマンスは最大血中乳酸濃度との間に有意な相関関係が認められている (Tanji et al., 2018)。また、10,000m 走やハーフマラソン走行後の血中乳酸濃度はそれらの走パフォーマンスと有意な相関関係が認められている (黄ほか, 2009)。本研究ではレースを想定したプロトコルによって最大血中乳酸濃度を評価していないことが影響し、トラック長距離種目の走パフォーマンスとの有意な相関関係が認められなかったものと推察される。

2. 箱根駅伝出走ランナーと非出走ランナーの比較

箱根群の IAAF score は非箱根群よりも有意に高く、その差は moderate であった。しかし、箱根群の最も低い IAAF score は 1006points であった一方、非箱根群の最も高い IAAF score は 1067points であり、必ずしも IAAF score の高い上位 10 名が箱根群ではなかった。また、エネルギー代謝能力のうち、箱根群と非箱根群の間に有意な差が認められたのは RE であった。RE はある速度において走行する際に求められるエネルギー消費量と定義され、優れた RE はより少ないエネルギー消費量で走行できることを示す。競技レベルの高い中距離ランナーにおいて 1km のランニングに対するエネルギー消費量は体重 1kg あたり 1.00kcal である (Margaria et al., 1963)。本研究の長距離ランナーにおいても、すべてのランナーにおける RE は Margaria et al. (1963) と同等の値 (0.98 ± 0.10 kcal/kg/km) が示されたものの、箱根群のみではさらに優れた値 (0.93 ± 0.07 kcal/kg/km) が示された。この結果は、トラック長距離種目の IAAF score が同等または劣っていたとしても優れた RE を有するランナーが箱根駅伝のメンバーに選出され、出走していたことを示唆している。

エネルギー代謝スピードのうち、箱根群と非箱根群の間に有意な差が認められたのは OBLA スピードであった。エネルギー代謝スピードはトラック競技種目におけるパフォーマンスの予測因子としては弱いものの、走行距離が長くなるにつれて予測精度が高くなることが指摘されている (Roecker et al., 1998)。OBLA スピードは運動中の血中乳酸濃度が定常状態になる最大負荷を示し (Figueira et al., 2008)、これを超えると非常に厳しい運動強度となる。実際、箱根群における OBLA スピードが 332 ± 12 m/min と、箱根駅伝における特殊区間 (5 区および 6 区) を除くすべての区間のレースペースとほぼ一致したことは興味深い。本研究の結果より、エネルギー

代謝能力を測定する特別な施設を有していなくても、トラックでの乳酸カーブテスト（大後ほか，1999）によって算出できる OBLA スピードが客観的な箱根駅伝のメンバーの選考に用いることができると考えられる。その際に算出された OBLA スピードは箱根駅伝におけるレース戦略にも用いることができる可能性も示された。

箱根群のうち、往路出走者と復路出走者では IAAF score に large, $\dot{V}O_{2\max}$ に moderate の効果量が認められた。この結果は、往路に IAAF score および $\dot{V}O_{2\max}$ の高いランナー、つまりチーム内で主力級の選手たちを配置する傾向があることを示唆している。往路の時点で出遅れないようにする戦略である可能性が高い。一方、復路出走者は往路出走者に比べて IAAF score に劣るものの、RE, LT スピードおよび OBLA スピードで very small または small の差であり、20km 以上の距離を堅実に走行してくれる選手を配置している可能性が示された。

3. 研究の限界

本研究には大きな限界がある。本研究を実施した 2020 年度は新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の感染拡大に伴って多くの競技会が開催中止となり、ほとんどの被験者は 5,000m 走を 2 回程度、10,000m 走を 1 回程度の出走機会しかなかった。また、すべての被験者はハーフマラソンの出走機会がなかった。そのため、本来であれば箱根駅伝の区間距離とも近いハーフマラソンのパフォーマンスを用いたところであったが、5,000m 走および 10,000m 走のシーズン最高記録を IAAF score によって得点化し、長距離走パフォーマンスの指標として扱った。この方法は 800m 走からフルマラソンまでの中長距離種目の競技タイムを IAAF score に得点化し、1 つの長距離走パフォーマンスの変数として生理学的変数などとの関係を調査した Mooses et al. (2015) および Legaz and Eston (2005) の研究によっても用いられている方法である。箱根群の IAAF score の平均値は 1,054 points であり、これはハーフマラソンにおいて 1 時間 3 分 25 秒の記録（1km 走行あたり 3 分 00 秒 35）に相当する。一方、本研究における箱根群の特殊区間（5 区および 6 区）を除く走行距離（175.5km; 1 区間は 20.9 km–23.1km）に対する箱根駅伝での実際の総タイムは XX 時間 XX 分 XX 秒であり、これは 1km 走行あたり XX 分 XX 秒 XX の走スピードである。したがって、本研究では 5,000m 走および 10,000m 走のシーズン最高記録によって IAAF score を得点化してパフォーマンスを扱ったが、非常に妥当性が高いものであったと考えられる。

V. まとめ

本研究は競技レベルの高い（IAAF score, >900 points）男性大学生長距離ランナーを対象に長距離走パフォーマ

ンスとエネルギー代謝能力およびエネルギー代謝スピードの関係を明らかにした。加えて、箱根駅伝に出走したランナーと非出走ランナーで比較することで、箱根駅伝に出走したランナーのエネルギー代謝能力およびエネルギー代謝スピードの特徴を検討した。トラック長距離種目（5,000m または 10,000m）におけるシーズン最高記録を IAAF score に得点化した走パフォーマンスは、 $\dot{V}O_{2\max}$ との間に有意な相関関係が認められたが、RE, LT 強度、最大血中乳酸濃度、LT スピードおよび OBLA スピードとの間に有意な相関関係が認められなかった。同様の結果は 10,000m 走タイムと各指標の間にも認められた。競技レベルの高いランナーを対象とする先行研究（Conley and Krahenbuhl, 1980; Tanji et al., 2017）と異なる結果が認められ、競技レベルの高いランナーにおいても優れた $\dot{V}O_{2\max}$ が重要であることが改めて示された。

箱根駅伝に出走したランナーは必ずしもトラック長距離種目（5,000m または 10,000m）における走パフォーマンスの高い上位 10 名が選出されているわけではなかった。また、箱根駅伝に出走したランナーは非出走ランナーに比べて、RE および OBLA スピードが有意に優れていた。したがって、箱根駅伝に出走していたランナーは走パフォーマンスが同等または劣っていたとしても優れた RE および OBLA スピードを有する特徴があるとする唆された。

文献

- Cohen J. (1988) Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd Edi. Oxford, UK, Routledge.
- Conley DL and Krahenbuhl GS. (1980) Running economy and distance running performance of highly trained athletes. Med Sci Sports Exerc, 12 (5): 357–360.
- Costill DL, Thomason H and Roberts E. (1973) Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. Med Sci Sports, 5 (4): 248–252.
- 大後栄治・植田三夫・石井哲次・上條清美・弘卓三 (1999) LT を基にしたトレーニング計画－神奈川大学箱根駅伝参加選手の特性－. ランニング学研究, 10 (1): 35–42.
- 榎本靖士・岡崎和伸・岡田英孝・渋谷俊浩・杉田正明・高橋英幸・高松潤二・前川剛輝・森丘保典・横澤俊治 (2008) ケニア人長距離選手の生理学的・バイオメカニクス的特徴の究明～日本人長距離選手の強化方策を探る～. 上月財団スポーツ研究助成事業報告書.
- Etxegarai U, Insunza A, Larruskain J, Santos-Concejero J, Gil SM, Portillo E and Irazusta J. (2018) Prediction of performance by heart rate-derived parameters in recreational runners. J Sports Sci, 36(18): 2129–2137.
- Figueira TR, Caputo F, Pelarigo JG and Denadai BS. (2008)

- Influence of exercise mode and maximal lactate-steady-state concentration on the validity of OBLA to predict maximal lactate-steady-state in active individuals. *J Sci Med Sport*, 11(3): 280–286.
- 八田秀雄 (2011) 乳酸を使いこなすランニング. 大修館書店: 東京, pp.128–140.
- 黄仁官・上田 大・別府健至・石井隆士・水野増彦・山田 保 (2009) 大学駅伝ランナーにおける 10,000 m 走及びハーフマラソンレース時の血中乳酸濃度に関する検討. *日本体育大学紀要*, 39 (1): 25–33.
- Ingham SA, Whyte GP, Pedlar C, Bailey DM, Dunman N and Neill AM. (2008) Determinants of 800-m and 1500-m running performance using allometric models. *Med Sci Sports Exerc*, 40 (2): 345–350.
- Joyner MJ. (1991) Modeling: optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *J Appl Physiol*, 70(2): 683–687.
- Joyner MJ, Ruiz JR and Lucia A. (2011) The two-hour marathon: who and when? *J Appl Physiol*, 110(1): 275–277.
- Legaz A and Eston R. (2005) Changes in performance, skinfold thicknesses, and fat patterning after three years of intense athletic conditioning in high level runners. *Br J Sports Med*, 39(11): 851–856.
- Legaz-Arrese A, Kinfu H, Munguía-Izquierdo D, Carranza-Garcia LE and Calderón FJ. (2009) Basic physiological measures determine fitness and are associated with running performance in elite young male and female Ethiopian runners. *J Sports Med Phys Fitness*, 49(4): 358–363.
- Margaria R, Cerretelli P, Aghemo P and Sassi G. (1963) Energy cost of running. *J Appl Physiol*, 18: 367–370.
- Mooses M, Mooses K, Haile DW, Durussel J, Kaasik P and Pitsiladis YP. (2015) Dissociation between running economy and running performance in elite Kenyan distance runners. *J Sports Sci*, 33(2): 136–144.
- Newell J, Higgins D, Madden N, Cruickshank J, Einbeck J, McMillan K and McDonald R. (2007) Software for calculating blood lactate endurance markers. *J Sports Sci*, 25(12): 1403–1409.
- Roecker K, Schotte O, Niess AM, Horstmann T and Dickhuth HH. (1998) Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Med Sci Sports Exerc*, 30(10): 1552–1557.
- Saunders PU, Cox AJ, Hopkins WG and Pyne DB. (2010) Physiological measures tracking seasonal changes in peak running speed. *Int J Sports Physiol Perform*, 5(2): 230–238.
- Spirie B. (2022) World Athletics Scoring Tables of Athletics - Outdoor: 2022 Revised edition. World Athletics.
- 丹治史弥・鍋倉賢治 (2017) 大学生ランナーにおける 3 年間の有酸素性能力と走パフォーマンスの変化の関係. *ランニング学研究*, 28 (2): 17–28.
- Tanji F, Shirai Y, Tsuji T, Shimazu W and Nabekura Y. (2017) Relation between 1,500-m running performance and running economy during high-intensity running in well-trained distance runners. *J Phys Fitness Sports Med*, 6(1): 41–48.
- Tanji F, Tsuji T, Shimazu W and Nabekura Y. (2018) Relationship between 800-m running performance and aerobic and anaerobic energy metabolism capacities in well-trained middle-distance runners. *Int J Sport Health Sci*, 16: 70–76.
- Tomita D, Suga T, Terada M, Tanaka T, Miyake Y, Ueno H, Otsuka M, Nagano A and Isaka T. (2020) A pilot study on a potential relationship between leg bone length and sprint performance in sprinters; are there any event-related differences in 100-m and 400-m sprints? *BMC Res Notes*, 13: 297.
- 吉野貴順・秋山大志・徳本一善 (2017) 駿河台大学駅伝部に対する科学的サポートの現状と課題. *駿河台大学論叢*, 55: 119–130.

MCT-jump test で評価されるパワー発揮特性のトレーナビリティ —男子大学生短距離走競技者を対象とした事例的検討—

長谷川貴大¹⁾, 木野村嘉則²⁾, 眞鍋芳明³⁾, 木越清信⁴⁾, 渡辺輝也⁵⁾

Trainability of reactive strength quality assessed by Multi contact time-jump test (MCT-jump test):
A longitudinal study of a male varsity sprinter

Takahiro HASEGAWA¹⁾, Yoshinori KINOMURA²⁾, Yoshiaki MANABE³⁾, Kiyonobu KIGOSHI⁴⁾, Teruya WATANABE⁵⁾

Abstract

Performances in jump and sprint events in track and field athletics require ballistic power production during short contact times of less than 200 ms. Kajitani et al. (2018) developed an assessment test of reactive strength quality that may affect ballistic power production. This test is named the “Multi contact time-jump test” (MCT-jump test) and it identifies the height of a drop jump from a 30 cm box with various take-off times. They made twice-repeated measurements beyond three-month training with 37 subjects and found significant differences in the maximal jump height in the MCT-jump test ($H_{\max}$) while there was no significant difference in take-off times with which $H_{\max}$ were appeared. However, it is still not clear if take-off time with which $H_{\max}$ was appeared could be shortened or not through the intended training. The purpose of this study was to examine this question using longitudinal data on a male varsity sprinter. The subject planned and conducted his training by himself under the supervision by the corresponding author of this study aiming at improving the performance of sprint event in track and field athletics. The training plan was an orthodox one in which the subject train basic power with weight training first and then ballistic and sprint event specific power production with jump and sprint training. We recorded the training process of the subject for 38 weeks and conducted the MCT-jump test eight times around the break of each training meso cycles as a training control test. As results of the MCT-jump test, $H_{\max}$ improved, showing a relatively long take-off time, through training which placed emphasis on weight training, while it was shortened and then kept at a certain level of height showing a decrease in take-off time through training which emphasized specific sprint and jump training. From these results it is concluded that the take-off time with which $H_{\max}$ was appeared can be shortened through the intended training.

キーワード：バリスティック運動, 身体的特性, コントロールテスト, 筋力・パワー集中負荷方式

1. 緒言

1.1 跳躍種目や短距離走種目の競技力を左右する爆発的なパワー発揮の能力とその評価

陸上競技における跳躍種目や短距離走種目では、200 ms 以下というきわめて短い接地時間のうちに下肢で着地衝撃を受けとめながら地面にできるだけ大きな力を加えることが求められる（図子ほか, 1993; Perttunen et al., 2000; Isolehto et al., 2007; Campos et al., 2013; 篠原・前田, 2017）。それゆえこうした種目の競技者とコーチは、反動を伴う爆発的なパワー発揮の能力を高めるために長期にわたるトレーニングを立案・実施し、各種のコントロールテストを活用してその成果を確認しながらトレーニング過程を制御する。

反動を伴う爆発的なパワー発揮の能力にかかわる競技者個人の特性の評価についてはこれまでに数多くの報告が存在しているが、わが国でその研究を加速させたのは図子ほか（1993）の研究であると考えられる。図子ほか（1993）は、いわゆるバリスティックな運動の遂行能力を評価するために、腰に手をあてた姿勢で 30cm の台上から跳び下り短い接地時間で高く跳ぶリバウンドドロップジャンプ¹⁾をテスト運動として取り上げながら、その跳躍高（m）を接地時間（s）で除した値である RDJ_{index} を評価指標とすることを提案している。この研究では、さらに、さまざまなスポーツ種目の競技者の筋力・パワー発揮特性を、競技者の RDJ_{index} 、垂直跳びの跳躍高、そして膝関節角度 90° のスクワット姿勢におけ

-
- 1) 筑波大学大学院人間総合科学学術院 Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
 - 2) 愛知東邦大学人間健康学部 Faculty of Human and Health Studies, Aichi Toho University
〒465-8515 愛知県名古屋市名東区平和が丘三丁目 11 番地
 - 3) 中京大学スポーツ科学部 School of Health and Sport Science, Chukyo University
〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101
 - 4) 筑波大学体育系 Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
 - 5) 愛知学院大学心身科学部 Faculty of Psychological and Physical Science, Aichi Gakuin University
〒470-0195 愛知県日進市岩崎町阿良池 12

る静的最大筋力の3つを相互に比較することによって検討し、競技者の筋力・パワー発揮特性を評価するには、一般的な筋力やパワーの評価に加えて、RDJ_{index}を用いたバリスティックな運動の遂行能力を評価することが有益であることを明らかにしている。図子ほか（1993）によって提案されたバリスティックな運動の遂行能力の評価指標は、その後、テスト運動について多様なバリエーションを生み出しながら、トレーニング場面におけるコントロールテスト項目のひとつとして、さらにはさまざまな研究において幅広く活用されている。

これに対して、近年では、バリスティックな運動の遂行能力の評価指標としてのRDJ_{index}には、リバウンドドロップジャンプにおいて踏切時間を短くすることをとくに強調することに起因する難点も指摘されている。リバウンドドロップジャンプでは、地面反力を大きくし、短時間で大きな力積を獲得するためには下肢の各関節の運動範囲を小さくし、大きな質量や慣性モーメントをもつ身体部位を動員しないことが求められる（図子・高松, 1995a, p. 35）。このため、リバウンドドロップジャンプでは、結果として、下肢3関節のなかでもっとも大きな筋力を発揮することができる股関節の貢献は足関節や膝関節と比較して小さくなっており（図子ほか, 2017）、それゆえリバウンドドロップジャンプは、足関節の発揮パワーがパフォーマンスに大きく貢献する運動の評価には適切であるが、股関節が主働関節となるスプリント走などについてはその評価には十分注意が必要であることが指摘されている（深代, 2017）。また、木越（2016）は、30 cm程度の低い台上から踏切時間の短縮を強調して行うリバウンドドロップジャンプでは、跳躍種目における実際の踏切で生じる着地衝撃の特異性が失われるために、跳躍競技の踏切時に脚筋群にかかる伸張負荷特性を反映できない可能性を指摘している。さらに、図子ほか（2017）も、跳躍種目の競技者の競技力と連続リバウンドジャンプにおけるRJ_{index}および跳躍高との間には有意な正の相関が認められたのに対して、踏切時間との間には有意な相関は認められなかったことを明らかにして、連続リバウンドジャンプにおいて踏切時間を短縮する能力は跳躍種目の競技力とは直接的には関連しない可能性があることを示唆している。

こうした中で、梶谷ほか（2018）は、反動を伴う爆発的なパワー発揮の能力の評価にかかわる主要な先行研究を総括しながら、30cmの台上から跳び下り、踏切時間を意識的に変化させながらできるだけ高く跳ぶジャンプテスト²⁾を用いて、さまざまな踏切時間における試技の跳躍高を確認し、競技者個人の反動を伴うパワー発揮の能力にかかわる特性（以下、「パワー発揮特性」と略す）を評価する方法を新たに提案している。このMCT-jump testは、図子ほか（1993）が3つのテスト運動を用いて評価を試みた競技者がもつ筋力・パワー発揮特性を、リ

バウンドドロップジャンプを含めたさらに多くのテスト運動を用いることでより精密に評価することを試みるものととらえられる。梶谷ほか（2018）は、37名の被験者を対象として約3か月の期間においてMCT-jump testの測定を2度行い、その最大跳躍高には有意な差が認められた一方で最大跳躍高が出現した踏切時間には有意な差は認められなかったことを報告している。また、梶谷ほか（2021）は、MCT-jump testで評価されるパワー発揮特性はスプリント走における接地時間と互いに影響を及ぼし合う関係にあることを明らかにして、MCT-jump testで評価されるパワー発揮特性はスプリント走のトレーニングに際して考慮すべき体力特性であることを示唆している。しかし、梶谷ほか（2018）の研究を含めて、MCT-jump testで評価されるパワー発揮特性のトレーナビリティはこれまで十分には検討されていない。

1.2 爆発的なパワー発揮能力のトレーナビリティに関する先行研究

図子・高松（1995b）は、RDJ_{index}で示されるバリスティックな運動の遂行能力は高い跳躍高を発揮する能力と踏切時間を短縮する能力という2つの独立した能力によって決定されることを示唆している。しかし、どのようなトレーニング方途をたどることによってバリスティックな運動の遂行能力を向上させることができるのかということについては、これまでのところ十分な実践研究が蓄積されているとは言い難い。

競技実践においては、長期にわたるトレーニングの展開に伴って、複数のトレーニング運動を使い分けながらトレーニングの量と強度を変化させ、競技会で必要とされる体力を計画的に向上させていく。しかし、爆発的なパワー発揮能力のトレーナビリティに関する先行研究においては、一定のトレーニングプロトコルを複数の被験者を対象として実施してそのトレーニング成果を比較検討する実験的研究が一般的であり（e.g. Young et al., 1999; Young and Behm, 2003; 池田・淵本, 2005; Kubo et al., 2007; 眞鍋ほか, 2008）、いわゆるピリオダイゼーションの考え方を踏まえて複数のトレーニング運動を取り入れたトレーニング実験に取り組んだ実験的研究はあまり見られない。また、図子ほか（2020）は、平均4.8 ± 2.2ヶ月の間隔において反復測定された、RDJ_{index}が増大したリバウンドドロップジャンプの試技を抽出し、RDJ_{index}の増大に及ぼす跳躍高と接地時間の変化、さらにそれらを生み出す下肢関節力学量の変化に検討を加えているが、測定間のトレーニング内容がそれらに及ぼす影響については検討していない。これに対して、長期にわたるトレーニング過程におけるトレーニング内容やコントロールテストの数値、あるいは競技力の変動を報告した研究も見られるが（e.g. 新井ほか, 2004; 森丘ほか, 2011; 大宮ほか, 2012, 2014; 戸邊ほか, 2018）、こう

した研究においては、どちらかといえばトレーニング過程における競技力の変遷に焦点が当てられており、バリスティックな運動の遂行能力のトレーナビリティについては詳細には検討されていない。

バリスティックな運動の遂行能力が高い跳躍高を発揮する能力と踏切時間を短縮する能力という2つの独立した能力によって決定されるとすれば、そのトレーニング方途は、高い跳躍高を発揮する能力を高めた上で踏切時間を短縮する能力を高めるという順序性を経るものと、踏切時間の延長が引き起こされるトレーニング過程を避けながら高い跳躍高を発揮する能力を高めることを試みるものを区別することができる。

図子・高松(1995c)は、バリスティックな運動の遂行能力を高めるトレーニングの方法について検討することを目的として、 RDJ_{index} の向上に伴ってリバウンドドロップジャンプの踏切時間と跳躍高がどのような変化パターンを示すのかを99名の男子体育系大学生の横断的データをもとに検討している。この研究では、被験者のリバウンドドロップジャンプにおける踏切時間と跳躍高との関係をグラフ上に示した上で、 RDJ_{index} の優劣に基づいてデータを序列化し、 RDJ_{index} の向上に伴う踏切時間および跳躍高の変化量に注目している。その結果、この研究では、 RDJ_{index} の向上に伴って、被験者の踏切時間と跳躍高は交互に増大もしくは減少することが確認されたことから、バリスティックな運動の遂行能力が向上していく過程では、運動遂行時間の短縮能力と大きなエネルギー発揮能力が交互に向上と減衰を繰り返しながら変化していく可能性があることを示唆するとともに、トレーニングに際しては、これらを同時に高めようとするのではなく、両者に分けてタイミングよく適切に高めていくことが有効である可能性を指摘している。しかし、この研究はトレーニング介入を伴う縦断的研究には取り組んでいない。

これに対して、図子(2013)は、コントロールテスト項目のひとつとして60cmの台高からのリバウンドドロップジャンプにおける RDJ_{index} を取り上げながら、筋力・パワー集中負荷方式とプライオメトリクス強調方式の間でそのトレーニング経過を比較し、プライオメトリクス強調方式では、スクワットで測定された最大筋力は筋力・パワー集中負荷方式と同様に向上したのに対して、垂直跳び、リバウンドドロップジャンプにおける RDJ_{index} さらに立ち五段跳びや助走付きの五段跳びで測定されたジャンプパワーについては、筋力・パワー集中負荷方式と比較してより顕著に改善されたことを事例的に明らかにしている。

1.3 研究のねらい

以上のように、爆発的なパワー発揮の能力にはさまざまな要因が関連しており、その向上に向けたトレーニング

は複合的なものとなる。そして、このような複合的なトレーニングを適切に制御するためには、従来行われてきた爆発的なパワー発揮の能力の向上に影響を及ぼすひとつひとつの要因に注目した実験的研究を蓄積することはもちろん、爆発的なパワー発揮の能力の向上に向けて仮説的に考えられた多様なトレーニング方途について、競技者の特性や競技者が置かれた状況を考慮した長期にわたるトレーニングを実施するとともに、他者が検証可能な客観性を備えた縦断的検討を蓄積することが不可欠である。

本研究の目的は、1名の男子大学生短距離走競技者を対象として、競技力向上に向けたトレーニング過程において、高い跳躍高を発揮する能力を高めた上で踏切時間を短縮する能力を高めるという順序性をとるトレーニングを立案し、その実施に伴うパワー発揮特性の変化をMCT-jump testを用いて評価しトレーニング過程を制御するとともに、MCT-jump testで評価されるパワー発揮特性のトレーナビリティについて事例的に検討することにある³⁾。MCT-jump testによって評価されるパワー発揮特性にトレーナビリティを確認することができれば、梶谷ほか(2018)も指摘しているように、これまで競技者の生得的な特性と見なされてきたパワー発揮特性そのものを改善する新たなトレーニングの可能性が開かれるほか、今後、パワー発揮特性のトレーナビリティについて詳細に検討するための基礎資料ともなりうるものと考えられる。

2. 方法

2.1 研究対象者

研究対象者は大学陸上競技部に所属し短距離走を専門とする大学4年生の競技者Aとした。競技者Aは身長175.0cm、体重68.0kgであり、陸上競技における短距離走について10年間の競技歴を有している。

競技者Aは本研究が考察対象とするトレーニングに自由意思に基づいて取り組んだ。また、競技者Aからは、トレーニング過程で得られた資料の研究利用およびその公表について書面により承諾を得た。なお、本研究の公表に向けて、本研究の責任著者の所属機関においてヒトを対象とする研究審査委員会による研究倫理審査を受け、研究成果の公表について承認を得た。

2.2 トレーニング計画の立案と実施

競技者Aは2019年度の大学4年次のシーズンに向けて自らトレーニング計画を立案しトレーニングに取り組んだが、2019年5月に行われたシーズン前半の最重要競技会において200m走に出場した際に左ハムストリングスに軽い肉離れを発症し、その直後から3週間にわたって参加した教育実習の際にはほとんどトレーニングを行うことができなかった。その後、競技者Aはトレー

ニング再開にあたって卒業論文の指導教員と相談しながら 2019 年 10 月に行われる競技会での自己最高記録の更新を目標にトレーニングを計画した⁴⁾。本研究では、以上のいきさつを経て計画的なトレーニングを開始した 2019 年 6 月 24 日から、目標とした競技会シーズンを終え、次のシーズンに向けた一般的準備期におけるトレーニングに取り組みだして約 10 週間が経過した 2020 年 3 月 16 日までの計 38 週間を考察対象とした。なお、この 2020 年 3 月 16 日以降にも本研究はその継続を予定していたが、新型コロナウイルス感染症の感染拡大に伴い研究の遂行に困難が生じたため、やむをえずその継続を打ち切ることとした。

トレーニング計画の立案に際しては、ハムスティングスの軽い肉離れからの復帰という経緯を踏まえて、いわゆる筋力・パワー集中負荷方式に基づくトレーニング計画を行った。具体的には、一般的準備期には、バリスティックな運動の遂行能力の基礎となる高い跳躍高を発揮する能力を高めるために、主として基礎的な筋力・パワーを発達させることをねらいとしたウェイトトレーニングに集中的に取り組むこととした。続いて、専門的準備期においては、踏切時間を短縮する能力を高めるために、ジャンプトレーニングをはじめとする動的筋力法と専門的なスプリントトレーニングを導入することとした。さらに、試合期には、基礎的な筋力・パワーを発達させるために取り組んだウェイトトレーニングの総量を減少させることを通して機能回復を図るとともに、専門的なスプリントトレーニングの重点化を通して、技術的運動の完成と爆発的なパワー発揮の能力の向上を図ることとした(村木, 1985)。

以上の流れをもつトレーニングの具体的な計画の立案に際しては、目標とする競技会を含むマクロ周期を念頭に置きながら、そのつどのメゾ周期ごとにいくつのミクロ周期を配置するのかを指導教員とともに討議するとともに、その内容を踏まえて競技者 A 自身が個々のミクロ周期のトレーニング計画を作成した。さらに、作成されたミクロ周期の具体的なトレーニング計画について、それまでのトレーニング経過を踏まえて再び指導教員とともに討議を行い必要に応じて修正を加えた。

実際のトレーニングにおいては基本的には計画通りの内容を実施したが、天候や体調などを踏まえ、競技者 A 自身の判断で必要に応じて修正を加えた。

2.3 トレーニング結果の記録と整理

(1) トレーニング日誌の記録

毎日のトレーニング後には、トレーニング計画と対照させる形で実際に行ったトレーニング内容を記録した。加えて、毎日のトレーニングにかかわって、トレーニングに伴う疲労の蓄積状況やトレーニング中やトレーニング後に身体に感じた違和感や痛みなど、特筆すべき事象

についてもあわせて記録した。

(2) トレーニング記録の整理

トレーニング経過を記録するために、トレーニング日誌に記録された個々のトレーニング内容をウェイトトレーニング、ジャンプトレーニング、あるいはスプリントトレーニングに分類するとともに、以下の手続きに従ってトレーニング記録を整理した。

ウェイトトレーニングについては、週ごとに各種目の挙上重量と反復回数を乗じた各種目の総挙上重量を合計し、ウェイトトレーニング全体の総挙上重量 (t/週) を算出した。

ジャンプトレーニングについては週ごとに合計の総接地回数 (回/週) を算出した。後述する MCT-jump test についてはジャンプトレーニングに含めた。

スプリントトレーニングについては、スパイクシューズを履いて実施したものをスプリントトレーニング (高強度) に分類するとともに、下り坂傾斜を利用してアップシューズで行ったスプリントアシステッドトレーニングについても脚にかかる負荷の大きさを考慮してスプリントトレーニング (高強度) に含めた。そして、スプリントトレーニングのうち、アップシューズを履いて実施したそれ以外のものをスプリントトレーニング (低強度) に分類した。スプリントトレーニングについては、分類されたそれぞれのカテゴリーごとに、週ごとの総走行距離 (m/週) を算出した。

2.4 MCT-jump test による反動を伴うパワー発揮特性の評価

(1) MCT-jump test の実施方法

本研究では、コントロールテストの一環として、梶谷ほか (2018) が提案した MCT-jump test を用いたパワー発揮特性の評価を行った。MCT-jump test とは、30cm の台上から跳び下りて再び跳び上がるドロップジャンプにおいて踏切時間を意図的に変化させながらできるだけ高く跳ぶ試技を繰り返し、そのつどの試技の踏切時間と跳躍高を確認するというものである。

先行研究では、MCT-jump test の信頼性の検証に際して、MCT-jump test で評価されるパワー発揮特性が順序効果によらずに再現される現象であることを確認するために、踏切時間を 0.1 秒 - 1.0 秒程度の範囲においてランダムな順で変化させ、15 - 20 回の試技の測定を行っている。これに対して、本研究では、すでに一定の再現性が確認された、MCT-jump test で評価されるパワー発揮特性について、その個人内比較をより正確に行うために、測定日間で測定条件を可能な限り一定にすることとした。そして、試技の順序に関しては、基本的にはじめに踏切時間の短縮を強調したりバウンドドロップジャンプを行い、それから徐々に長い踏切時間の試技の記録を

とるようにした。

MCT-jump test の実施に際しては、踏切時間をおおよそ 0.1 秒単位で変化させるために、後に述べる方法に基づいて踏切時間と跳躍高を試技直後に確認し、それに続く試技の踏切時間を意識的に変化させた。その際には、先行する試技の結果をもとに、測定者が試技者に対して「前の試技よりももう少し踏切時間を長く」などの指示を行い、おおよそ 0.1 秒単位で踏切時間が変化したデータを得るようにした。

MCT-jump test においては、いずれの試技も、できるだけ高く跳ぶことを意識して行わせた。また、試技は、十分なウォーミングアップを行った後、トレーニングシューズを履いて行わせた。すべての試技は、上肢の動作による影響を排除するために、腰に手をあてた状態で行わせ、試技間には十分な休息を取らせた。

(2) 測定方法および撮影

MCT-jump test をマットスイッチ（マルチジャンプテスト、ディケイエイチ社製、サンプリングレート 1,000 Hz）上で行いすべての試技の滞空時間 (s) と接地時間 (s) を測定した。また、試技者の側方約 5 m の地点の 1.3m の高さに固定したハイスピードカメラ (Fz-200, Panasonic 社製) で試技の動作撮影を行った。なお、機器の不具合でマットスイッチで測定した試技の滞空時間 (s) と接地時間 (s) のデータが部分的に保存されなかったという事態が 1 度生じたため、ハイスピードカメラ (120 f/s) で撮影した試技の映像のコマ数から試技の滞空時間 (s) と接地時間 (s) を測定しデータの欠損を補

完した。

(3) 跳躍高の算出

得られたデータに基づいて、各試技について跳躍高 (m) を以下の式によって求めた。ここで g とは重力加速度 (9.81 m/s^2) のことである。

$$\text{跳躍高 (m)} = 1/8 \cdot g \cdot \text{滞空時間 (s)}^2$$

(4) 実施日

MCT-jump test の実施日は、測定者の都合と競技者 A のトレーニング周期上の位置づけを考慮し、一般的準備期開始時点の 2019 年 6 月 24 日、一般的準備期終盤の 8 月 1 日、試合期開始時点の 9 月 16 日、試合期終盤の 10 月 28 日、移行期中の 12 月 2 日、一般的準備期を開始した直後の 2020 年 1 月 13 日、そして一般的準備期におけるトレーニングに取り組みだして 6 週間と 10 週間が経過した 2 月 17 日、3 月 16 日の計 8 回とした。なお、測定日直前のトレーニング内容が測定結果を大きく左右することがないように、測定日の前日は休養日もしくはごく軽いコンディショニング的トレーニングのみを実施することとした。

3. 結 果

3.1 各種トレーニング運動の量から見たトレーニング過程

(1) トレーニングの実施とトレーニング日誌の蓄積

表 1 には、立案したトレーニング計画と実際に実施し

表 1 トレーニング計画とトレーニング記録の例

ミクロ	日付	曜日	トレーニング計画	トレーニング記録
回復	8月12日	月	Rest	Rest
	8月13日	火	スプリントドリル, SD (30mx3, 60mx2)	スプリントドリル, 流し100mx3 赤目四十八滝トレッキング(積極的休養の手段として)
	8月14日	水	WT(クリーン70kgx5, 75kgx4, 80kgx3x2, スクワット70kgx10, 85kgx6, 60kgx5x2, ベンチプレス55kgx10x3, 懸垂40回, 両手砲丸投げ(2.7kg)フロントx5, バックx5)	WT(クリーン70kgx5, 75kgx4, 80kgx3x2, スクワット70kgx10, 85kgx6, 60kgx5x2, ベンチプレス55kgx10x3, 懸垂40回, 両手砲丸投げ(2.7kg)フロントx5, バックx5)
通常	8月15日	木	Rest	Rest
	8月16日	金	スプリントドリル, SD (30mx3, 60mx2) コーンジャンプ10個x4, スキップ10歩x3	スプリントドリル コーンジャンプ 10個x4, スキップ10歩x3, SD (30mx3, 60mx2), ハードルジャンプ5台x5 スクワット30kg x 20
	8月17日	土	スプリントドリル, 150mx3x2 WT(クリーン75kgx4, 75kgx5x3, ベンチプレス55kgx10x3, スクワット90kgx5x4, 懸垂30回)	スプリントドリル, 150mx5 WT(腹筋, クリーン75kgx4x1, 75kgx5x3, ベンチプレス55kgx10x3, スクワット90kgx5x4, 懸垂30回)
	8月18日	日	Rest	Rest
	8月19日	月	スプリントドリル, SD (30mx3, 60mx3), 120mx2	スプリントドリル, SD (30mx3, 60mx2), 流し100mx2 メディシンボール両手直上投げ(3kgx10x2)
強化	8月20日	火	スプリントドリル, 200mx5 スキップ10歩x3	スプリントドリル, スキップ10歩x3, 坂下り走(50mx3), 200mx4, 腹筋
	8月21日	水	WT(クリーン70kgx5, 75kgx4x2, 80kgx3x2, スクワット70kgx10, 85kgx6x2, 60kgx5x2, ベンチプレス55kgx10x3, 懸垂40回, 両手砲丸投げ(2.7kg)前x5, 後x5)	WT(クリーン70kgx5, 75kgx4x2, 80kgx3x2, スクワット70kgx10, 85kgx6x2, 60kgx5x2, ベンチプレス55kgx10x3, 懸垂40回, 両手砲丸投げ(2.7kg)フロントx5, バックx5)
	8月22日	木	Rest	Rest
	8月23日	金	スプリントドリル, コーナーSD (60mx3) 立五段跳び, ミニハードルジャンプ10台x5 ハードルジャンプ5台x5	スプリントドリル, 坂ダッシュ30mx5, コーナーSD60mx3 ミニハードルジャンプ10台x5, ハードルジャンプ5台x5(雨天)
	8月24日	土	スプリントドリル, 300m+200m+100m WT(クリーン75kgx5x5, スクワット90kgx5x5, ベンチプレス55kgx10x3, 懸垂30回)	スプリントドリル, 300m(42秒)+200m+200m+100m WT(クリーン75kgx5x5, スクワット90kgx5x5, ベンチプレス55kgx10x3, 懸垂30回)
	8月25日	日	Rest	Rest

たトレーニングの記録を専門的準備期における2週間のトレーニングを例にとって示した。なお、考察対象としたトレーニング期間中には、2019年9月6日に下り坂傾斜を利用したスプリントアシステッドトレーニングを行った翌日に左足首痛が生じたことに加えて、2019年10月6日に出場した競技会のレース中に左ハムストリングス痛と左足首痛を発症した以外は、目立ったスポーツ障害の発生は認められなかった。また、2020年3月4日から3月15日の間には、新型コロナウイルス感染症の拡大防止に向けて研究対象者が所属する大学がスポーツ施設の利用禁止措置をとったため、トレーニング計画の大幅な変更が必要となっている。

(2) トレーニング量から見たトレーニング過程

図1には、ウェイトトレーニングの週ごとの総挙上重量 (t/週)、ジャンプトレーニングの週ごとの総接地回数

回数 (回/週)、スプリントトレーニング (高強度) および (低強度) の週ごとの総走行距離 (m/週) が示されている。

ウェイトトレーニングの週ごとの挙上総重量は、一般的準備期および専門的準備期で多く、試合期および移行期には少なかった。

ジャンプトレーニングの週ごとの総接地回数は、専門的準備期および試合期に多く、一度目の一般的準備期および移行期には少なかった。なお、試合期には、ジャンプトレーニングをより多く行う計画を立てていたが、2019年10月6日に発症した左足首痛のためにその後は本格的な実施を見送った影響で、計画よりもトレーニング量は少なくなっている。

スプリントトレーニング (低強度) の総走行距離は、一般的準備期に多く、試合期に向けて徐々に減少した。これに対して、スプリントトレーニング (高強度) は、

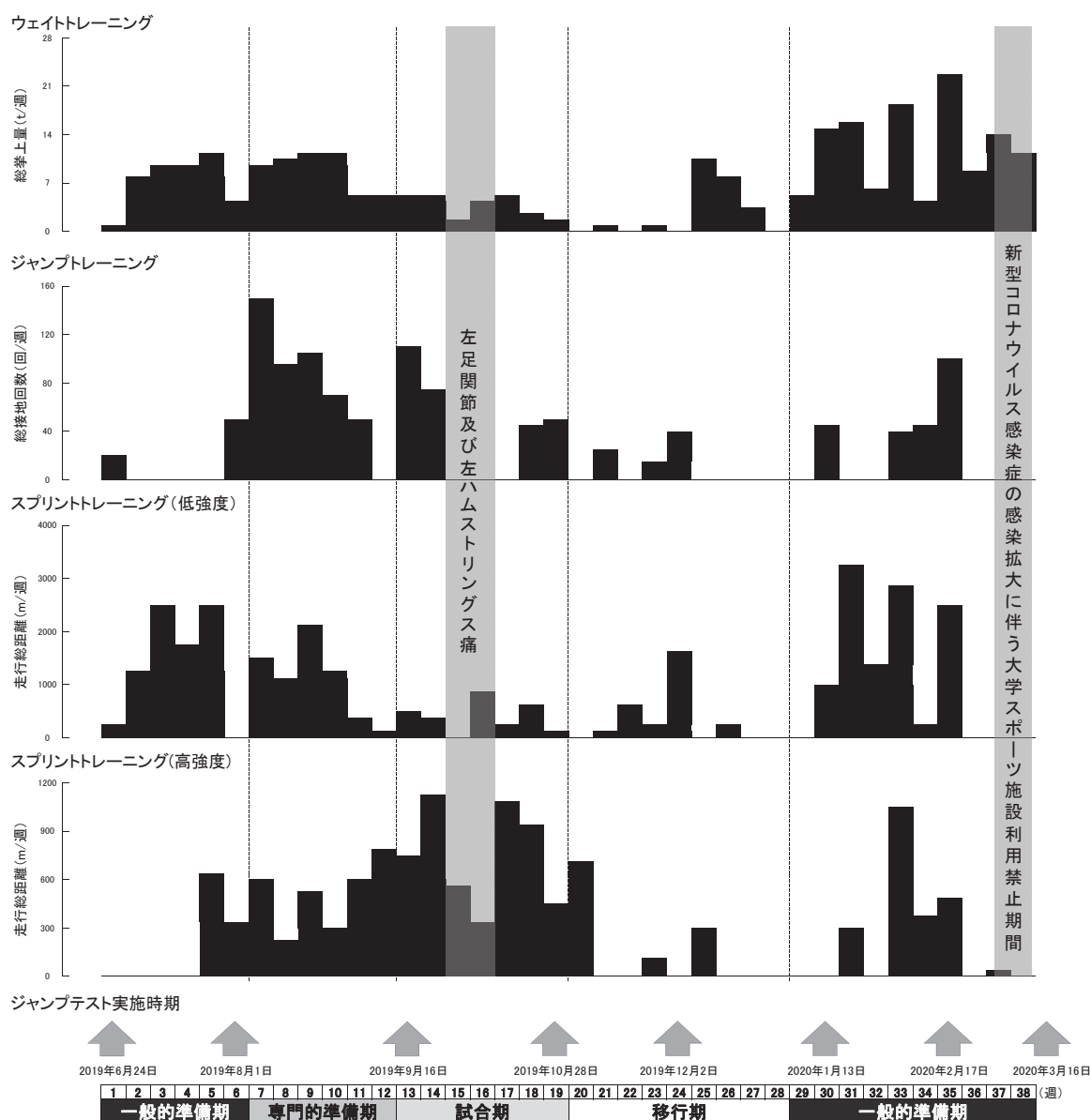


図1 トレーニング過程と MCT-jump test の実施時期

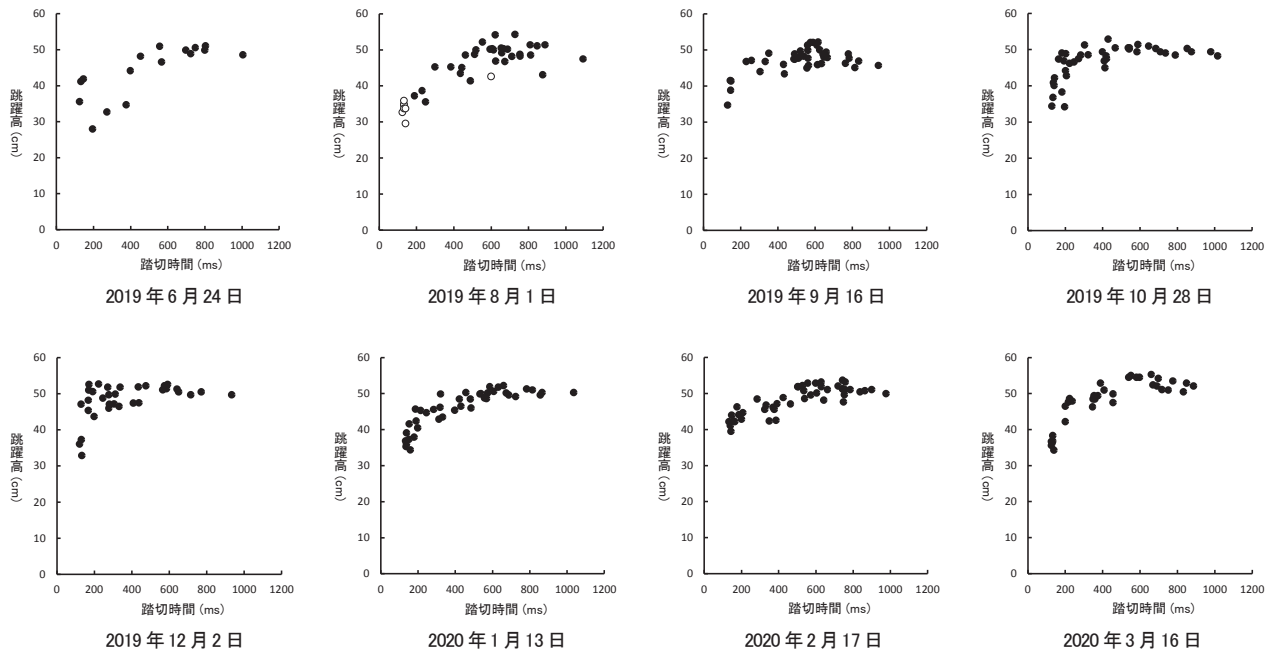


図2 トレーニングの展開に伴う MCT-jump test の結果の推移

一般的準備期の途中からトレーニングが開始され、専門的準備期にはそのトレーニング量の水準が維持された後、試合期には多くなっている。

3.2 トレーニングの展開に伴う MCT-jump test の結果の推移

(1) MCT-jump test から得られたデータの概観

図1にはトレーニングの展開における MCT-jump test の実施時期が、図2には各測定日の MCT-jump test における各試技の踏切時間と跳躍高との関係が示されている。図2において、各試技のデータは●で示したが、第2回目の MCT-jump test の実施日（2019年8月1日）には、機器の不具合でマットスイッチで測定した試技の滞空時間（s）と接地時間（s）のデータが部分的に保存されなかったという事態が生じたため、当該試技についてはハイスピードカメラで撮影した映像のコマ数から試技の滞空時間（s）と接地時間（s）を算出し、そのデータについては図2では○で示して他のデータと区別できるようにした。

なお、2019年6月24日の測定では、15～20回という試技数を示した梶谷ほか（2018）の研究にならない、MCT-jump test における試技数は20回以下とすることを念頭に置いていた。しかしその結果、図2に示されているように、200～400 ms の踏切時間を示す試技の跳躍高がその他の範囲のデータから想定されるよりも低いものとなった。これは、当該踏切時間における試技にいわゆる失敗試技が含まれたためであると考えられた。そこで本研究では、第2回目以降の測定では、その都度、全力発揮がなされたと考えられる試技の測定に成功した後で、より長い踏切時間の試技の測定に移行した。その

結果、MCT-jump test におけるすべての踏切時間について全力発揮に成功した試技を測定したという前提は確保された一方で、試技数については梶谷ほか（2018）が示した15～20回という範囲からは逸脱することとなっている。

(2) トレーニングの展開に伴う MCT-jump test における最大跳躍高と踏切時間との関係の推移

図3には、各測定日の MCT-jump test における最大跳躍高とその試技の踏切時間との関係の推移を示した。な

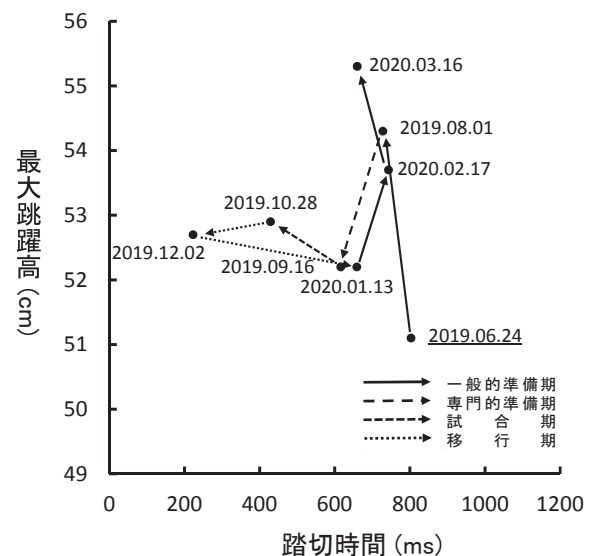


図3 MCT-jump test における最大跳躍高とその試技の踏切時間との関係の推移

お、図3では、測定初日に日付にアンダーラインを付すとともに、測定日ごとのデータをむすぶ矢印の形状により各測定日間のトレーニング周期を示した。

各測定日のMCT-jump testにおける最大跳躍高とその試技の踏切時間との関係（以下では跳躍高（踏切時間）で示す）を見てみると、トレーニング開始時には51.1cm（803ms）であったものが、ウェイトトレーニングの実施に着手した一般的準備期には54.3cm（728ms）にまで一旦跳躍高が向上した。その後、ウェイトトレーニングに加えてジャンプトレーニングとスプリントトレーニング（高強度）を多く実施した専門的準備期におけるトレーニングを経て52.2cm（616ms）、そしてウェイトトレーニングを減少させスプリントトレーニング（高強度）を多く実施した試合期におけるトレーニングを経て52.9cm（429ms）まで跳躍高をやや低下させながらも踏切時間が短縮された。さらに、移行期における約4週間のトレーニングの休止を通じて52.7cm（223ms）まで跳躍高をほぼ維持しながら踏切時間が短縮された。その後、引き続き約6週間のトレーニングの休止を経て52.2cm（659ms）まで踏切時間の延長を示した後、ウェイトトレーニングの再開を伴う一般的準備期における5週間のトレーニングを経て53.7cm（743ms）、さらにその後の4週間のトレーニングを経て55.3cm（660ms）まで相対的に長い踏切時間を維持しながら跳躍高が向上した。

4. 考 察

本研究の目的は、1名の男子大学生短距離走競技者を対象として、主として高い跳躍高を発揮する能力を高めた上で踏切時間を短縮する能力を高めるという順序性をとるオーソドックスなトレーニングを立案し、その実施に伴うパワー発揮特性の変化をMCT-jump testを用いて評価しトレーニング過程を制御するとともに、MCT-jump testで評価されるパワー発揮特性のトレーナビリティについて事例的に検討することであった。

これまでわが国では、反動を伴う爆発的なパワー発揮の能力はRDJ_{index}を用いて評価されることが多かった。また、RDJ_{index}を考案した図子ほか（1993）は、一般に行われている下肢筋力およびパワーの評価に加えて、リバウンドドロップジャンプにおけるRDJ_{index}を測定することで、各種スポーツ競技者の下肢の筋力・パワー発揮からみたスポーツタレントの発掘をより合理的に実施できることを示唆している。このことは、図子ほか（1993, p. 276）には、下肢の筋力・パワー発揮とRDJ_{index}で評価される反動を伴う爆発的なパワー発揮能力との関係がタレント発掘に際して注目すべき特性、つまり生得的な特性ととらえられていることを意味しているものと考えられる。

また、梶谷ほか（2018）は、37名の被験者を対象として、約3か月の期間においてMCT-jump testの測定を

2度行い、その最大跳躍高には有意な差が認められたのに対して最大跳躍高が出現した踏切時間には有意な差は認められなかったことに基づいて、MCT-jump testにおける最大跳躍高はトレーニングによって変化させられる競技者の「能力」と、そして最大跳躍高を示した試技の踏切時間の短さは競技者のもつ生得的な「特性」ととらえられる可能性があることを指摘している。

さらに、Ritzdorf（2009）は、自身の走高跳のコーチング経験に基づいて、“reactive strength”は変化させることがもっとも難しい身体的特性であることを指摘しているが、それは“reactive strength”が筋線維や神経筋単位のタイプという生得的に規定される要因に強い影響を受けるという理由に基づいているものと考えられる。

以上のように、バリスティックな運動の遂行能力を構成する高い跳躍高を発揮する能力と踏切時間を短縮する能力という2つの独立した能力のうち、とくに後者は、トレーニング可能な能力というよりも、生得的に規定される身体的特性であるとする見方が存在しているものと思われる。ただし、梶谷ほか（2018）の研究では、測定間に行われたトレーニングの内容やピリオダイゼーションにおける両測定的位置づけについては触れられておらず、測定間に行われたトレーニングがMCT-jump testにおいて最大跳躍高を示した試技の踏切時間の短縮を期待できるものであったか否かは明らかではない。また、梶谷ほか（2018）自身も、MCT-jump testによって評価される競技者のパワー発揮特性のタイプに着目することで客観的指標に基づく適正種目の選択やタレント発掘が可能になる可能性を示唆しながらも、長期的なトレーニングによるパワー発揮特性のトレーナビリティの有無を明らかにすることができれば、これまで競技者の生得的な特性と見なされてきたパワー発揮特性そのものを改善する新たなトレーニングの可能性が開かれると述べて、そのトレーナビリティについては検討の余地を残している。

本研究では、MCT-jump testにおける最大跳躍高とその試技の踏切時間は、一般的準備期におけるトレーニングを通して相対的に長い踏切時間を保ちながら跳躍高が一旦高められ、そして専門的準備期および試合期におけるトレーニング、さらには移行期におけるトレーニングの休止を通して跳躍高をやや減少させながらも踏切時間を短縮できたことが確認された。本研究で得られた以上の結果は、ウェイトトレーニングによる長い踏切時間の中での跳躍高の向上という成果を、踏切時間の短縮に向けたトレーニング効果が期待できるジャンプトレーニングなどの成果と結びつけることによって、より短い踏切時間の中での跳躍高を向上させるという、オーソドックスなトレーニング方法に基づくパワー発揮特性のトレーナビリティを事例的に裏づけるものであると考えられる。

すでに述べたように、本研究では、第2回目以降の測定では梶谷ほか（2018）が示した15－20回という試技数以上の測定を行ったため、MCT-jump testの後半の試技の跳躍高が疲労、あるいはウォーミングアップ効果の影響で本来の値よりもごくわずかに低く、あるいは高く計測されている可能性はある。しかし、2019年12月2日の33回と2020年3月16日の34回というほぼ同数の試技が行われたMCT-jump testの結果を比較してみても、最大跳躍高を示した試技の踏切時間は測定日間で著しく変動していることは明らかである。また、MCT-jump testで評価されたパワー発揮特性の変化も、トレーニング計画に際してねらいとした通りの周期性を示している。具体的には、MCT-jump testで評価されたパワー発揮特性の変化は、一般的準備期に高い跳躍高を発揮する能力を高め、専門的準備期および試合期に踏切時間を短縮する能力を高め、さらには移行期におけるトレーニングの休止を通じてトレーニング成果の一時的な消失を許容した後、一般的準備期には再び高い跳躍高を発揮する能力を高めるという想定通りの周期性を示している。このため、仮に第2回目以降の測定におけるMCT-jump testの後半の試技の跳躍高が仮に本来の値よりもごくわずかに低く、あるいは高く計測されていたとしても、それによって本研究の研究成果に影響が及ぶことはない。

なお、本研究では、MCT-jump testを用いてパワー発揮特性の変化を記録することにより、いわゆる基礎的なパワー発揮能力の改善を爆発的なパワー発揮能力の改善につなげることを意図したトレーニングの進捗状況を詳細に検討することができた。したがって、MCT-jump testは、トレーニングの展開に伴い複数のトレーニング運動を使い分けながらトレーニングの量と強度を変化させ、競技会で必要とされる体力を計画的に向上させていくトレーニング過程を制御する上で有用なコントロールテストのひとつとなりうることを示唆される。ただし、コントロールテストとしてMCT-jump testを実施する場合には、ドロップジャンプにおいて踏切時間を意識的に変化させながら全力発揮を行うという、一定の難易度を示すテスト運動について、競技者が事前に習熟しておく必要がある。また、コントロールテストとして個人内比較をより正確に行うことを念頭に置き、測定日間で測定条件を統一するため、さらに測定そのものをより簡易化するために、試技順についてははじめに踏切時間の短縮を強調したりバウンドドロップジャンプを行い、それから徐々に長い踏切時間の試技の記録をとるべきであろう。なお、すでに触れた木越（2016）の指摘を念頭に置けば、今後、競技者の競技水準に応じたMCT-jump testにおける適切な台高についても検討する必要がある。

5. 結 論

本研究の目的は、1名の男子大学生短距離走競技者を対象として、トレーニングに伴うパワー発揮特性の変化を梶谷ほか（2018）が提案したMCT-jump testを用いて評価しそのトレーニング過程を制御するとともに、MCT-jump testで評価されるパワー発揮特性のトレーニングビリティについて事例的に検討することにあった。そこで本研究では、研究対象者の競技力向上に向けた約38週間にわたるトレーニング過程を記録するとともに、コントロールテストの一環としてMCT-jump testによるパワー発揮特性の評価を計8回行った。

その結果、本研究では、MCT-jump testにおける最大跳躍高とその試技の踏切時間は、一般的準備期におけるトレーニングを通して相対的に長い踏切時間を保ちながら跳躍高が一旦高められた後、専門的準備期および試合期におけるトレーニング、そして移行期におけるトレーニングの休止を通して跳躍高をやや減少させながらも踏切時間は短縮されたことが確認された。以上のように、本研究では、MCT-jump testによって評価されるパワー発揮特性は意図的なトレーニングやトレーニングの休止に伴い改善されたことを事例的に確認することができた。したがって、MCT-jump testによって評価されるパワー発揮特性は、競技者個人の生得的な特性ではなく、長期にわたる複合的なトレーニングおよびその休止を意識的に行うことによって一定範囲内でのトレーニングビリティを示す、競技者個人の能力ととらえられる可能性がある。

ただし、本研究は1事例の縦断的データに基づいている。したがって、本研究の成果は、集団全体を対象としたトレーニングの制御に安易に活用されるのではなく、競技者個人の特性を十分に考慮したトレーニング計画の立案に際して参照可能な、個別事例の記録に基づくトレーニングアイデアのひとつととらえられるべきである。なお、今後は、本研究の限界を乗り越えるために、複数の被験者を対象とした追検証を行う必要があるが、その際には、トレーニングの個別性の原則に基づいて、競技者個人の特性を考慮したトレーニングを行うとともにその経過におけるパワー発揮特性の評価結果を蓄積していく必要がある。

また、本研究では、ハムストリングスの軽い肉離れからの復帰という経緯を踏まえ、いわゆる筋力・パワー集中負荷方式を用いたオーソドックスなトレーニング構成を行ったが、図子（2013）は、筋力・パワー集中負荷方式とプライオメトリクス強調方式の間でそのトレーニング経過を比較して、後者ではジャンプパワーがより顕著に改善したことを事例的に明らかにしている。それゆえ今後は、筋力・パワー集中負荷方式のみならず、プライオメトリクス強調方式におけるトレーニング経過に伴う

パワー発揮特性の推移についても MCT-jump test を用いて確認する必要がある。

さらに、本研究では、MCT-jump test で評価されるパワー発揮特性のトレーナビリティをテーマとしたために、本研究が研究対象としたトレーニング期間におけるバリスティックな運動の遂行能力の発達について詳細に検討することはできなかった。したがって、今後は、MCT-jump test で評価されるパワー発揮特性の変化がバリスティックな運動の遂行能力の発達に及ぼす影響についても検討を進める必要がある。こうした点については今後の課題として残される。

注

- 1) 図子ほか（1993）は、台高および膝曲げ動作の異なるドロップジャンプを用いた検討を経て、腰に手をあてた姿勢で 30 cm の台上から跳び下り浅い膝曲げ動作で行うドロップジャンプをテスト運動として取り上げながら、その跳躍高 (m) を接地時間 (s) で除した値である DJ_{index} を評価指標とすることを提案している。これに対して、図子・高松（1995b）は、用語をより正確に用いるために、さまざまな深さの膝曲げ動作を伴うドロップジャンプと浅い膝曲げ動作で行うドロップジャンプを区別して後者をリバウンドドロップジャンプと呼び、そしてバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の評価指標を DJ_{index} から RDJ_{index} へと改めている。その後の研究においても、テスト運動およびその評価指標にはさまざまな名称が与えられているが、本研究では、接地時間をできるだけ短くして高く跳ぶドロップジャンプを「リバウンドドロップジャンプ」、連続して行われるリバウンドジャンプを「連続リバウンドジャンプ」と呼ぶとともに、それぞれの跳躍高 (m) を接地時間 (s) で除した指標をそれぞれ RDJ_{index} 、 RJ_{index} と呼ぶこととする。
- 2) 梶谷ほか（2018）はこのジャンプテストに特別な名称を与えていないが、後に梶谷ほか（2021）はこのジャンプテストを“Multi contact time-jump test”（以下“MCT-jump test”と略す）と呼んでいる。
- 3) 本研究の成果は、研究対象者本人の自由意思に基づくトレーニング計画の立案と実施、さらに卒業論文の作成を理由とした長期にわたる本格的なトレーニングの中断という偶発的な事象を基礎としている。先行研究における「研究成果に反する結果」を得ることを目的として、本研究で観察されたような半年以上にわたる高強度のトレーニングの実施とその後の長期にわたる強制的なトレーニングの休止を複数の被験者を対象として行わせることや、研究目的で複数の競技者のトレーニングに介入することは、研究倫理の視点から見て不可能である。したがって、

研究対象者自身によるトレーニングの実施に伴って得られた科学的縦断データを先行研究の展開に適切に位置づけ、陸上競技コーチング論における有用な研究成果を提示するという本研究の研究デザインには、一定の妥当性を認めうるものと考えられる。

- 4) 考察対象としたトレーニング期間では、結果的には、競技者 A は自己最高記録の更新は達成できなかった。しかし、2019 年 9 月 26 日にトレーニング場面において測定したスタンディングスタートからの 200m 走では、手動計時でありながらも 21.95 秒（+1.6）という大学時代の 200m の自己最高記録を上回る 21.8 秒という記録を示したことから、競技力向上に向けたトレーニングの制御には一定の成果が認められるものと考えられる。なお、競技者 A の 200m の自己最高記録は高等学校 3 年次に達成した 21.87 秒（+0.3）である。本研究が考察対象としたトレーニング期間においては、体力面およびトレーニング場面での競技的運動のパフォーマンスには一定のトレーニング成果が認められたにもかかわらず、その成果を競技場面における競技力の向上につなげることができなかった。したがって、今後は、競技者 A の競技力の向上に向けて、体力のみならず技術力、戦術力、そして心的能力についても検討対象としながらその原因追及を行う必要がある。

文 献

- 新井宏昌・渡邊信晃・高本恵美・真鍋芳明・前村公彦・岩井浩一・宮下 憲・尾縣 貢（2004）国内一流女子スプリンターにおけるトレーニング経過にともなう形態的・体力的要因と疾走動作の変化。体育学研究, 49（4）：335-346。
- Campos, J., Gámez, J., Encarnación, A., Gutiérrez-Dávila, M., and Rojas, J. (2013) Three dimensional kinematic analysis of the long jump at the 2008 IAAF World Indoor Championships in Athletics. New Studies in Athletics, 28（3/4）：115-131.
- 深代千之（2017）瞬発性運動におけるパワー評価。体育の科学, 67（4）：221-225。
- 池田祐介・淵本隆文（2005）ダブルレグホップのトレーニングにともなう下肢関節のモーメントとパワーの変化。体育学研究, 50（1）：1-11。
- Isolehto, J., Virmaavirta, M., Kyröläinen, H., and Komi, P. (2007) Biomechanical analysis of the high jump at the 2005 IAAF World Championships in Athletics. New Studies in Athletics, 22（2）：17-27。
- 梶谷亮輔・前村公彦・山元康平・水島 淳・尾縣 貢・木越清信（2021）MCT-jump test で評価される反動動作特性とスプリント走の接地時間との関係。陸上競技学会誌, 19: 1-10。

- 梶谷亮輔・前村公彦・山元康平・関慶太郎・尾縣 貢・木越清信 (2018) ジャンプ運動における個人の反動動作特性を評価する方法の開発. 体育学研究, 63 (1) : 139-149.
- 木越清信 (2016) 跳躍競技のバイオメカニクス. 陸上競技学会誌, 14 (1) : 60-67.
- Kubo, K., Morimoto, M., Komuro, T., Yata, H., Tsunoda, N., Kanehisa, H., and Fukunaga, T. (2007) Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39 (10) : 1801-1810.
- 眞鍋芳明・桜井健一・岩壁達男・尾縣 貢 (2008) 速度の異なるスクワットトレーニングが下肢の筋断面積, 筋力, 運動パフォーマンスに与える影響. バイオメカニズム, 19: 69-80.
- 森丘保典・品田貴恵子・門野洋介・青野 博・安住文子・鍋倉賢治・伊藤静夫 (2011) 陸上競技・中距離選手のトレーニング負荷の変化がパフォーマンスおよび生理学的指標に及ぼす影響について: 走行距離と強度に注目して. コーチング学研究, 24 (2) : 153-162.
- 村木征人 (1985) 上級ジャンパーのトレーニングの合理化: 筋力集中方式トレーニングの理論と実際. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 4 (11) : 797-802.
- 大宮真一・堤 毅・北風沙織・奥塚みなみ (2012) 日本学生一流女子走幅跳選手における競技記録および各種垂直跳パフォーマンスの変化: 大学1年生から2年生まで. 北翔大学北方圏生涯スポーツ研究センター年報, (3) : 7-16.
- 大宮真一・中村宏之・北風沙織・重成敏史・伊丸岡亮太・吉田 真・吉田昌弘 (2014) 日本学生一流女子走幅跳選手における競技記録および各種垂直跳パフォーマンスの変化: 大学3年生から4年生まで. 北翔大学北方圏生涯スポーツ研究センター年報, (5) : 15-26.
- Perttunen, J., Kyröläinen, H., Komi, P. V., and Heinonen, A. (2000) Biomechanical loading in the triple jump. *Journal of Sports Sciences*, 18 (5) : 363-370.
- Ritzdorf, W. (2009) Approaches to technique and technical training in the high jump. *New Studies in Athletics*, 24 (3) : 31-34.
- 篠原康男・前田正登 (2017) 短距離走スタートにおける第1歩目への着地からみたブロッククリアランスと加速様態に関する研究. 陸上競技学会誌, 15 (1) : 19-33.
- 戸邊直人・林 陵平・苅山 靖・木越清信・尾縣 貢 (2018) 一流走高跳選手のパフォーマンス向上過程における事例研究. コーチング学研究, 31 (2) : 239-251.
- Young, W. B. and Behm, D. G. (2003) Effects of running, static stretching and practice jumps on explosive force production and jumping performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43 (1) : 21-27.
- Young, W. B., Wilson, G. J., and Byrne, C. (1999) A comparison of drop jump training methods: effects on leg extensor strength qualities and jumping performance. *International Journal of Sports Medicine*, 20 (5) : 295-303.
- 図子あまね・苅山 靖・吉田拓矢・木越清信・尾縣 貢 (2020) 陸上競技跳躍競技者のリバウンドジャンプにおける下肢筋力・パワー発揮特性の縦断変化. 体育学研究, 65: 225-236.
- 図子あまね・苅山 靖・図子浩二 (2017) リバウンドジャンプテストを用いた跳躍選手の専門的な下肢筋力・パワーに関する評価. 体力科学, 66 (1) : 79-86.
- 図子浩二 (2005) スポーツアスリートにおけるばねに関する理論とその可能性. 陸上競技研究, 60 (1) : 2-17.
- 図子浩二 (2013) 筋力・パワー集中負荷方式およびプライオメトリクス強調方式のトレーナビリティに関するトレーニング学的研究: 跳躍競技者のプレシーズンにおけるトレーニング経過を手がかりにして. 陸上競技学会誌, 11 (1) : 39-49.
- 図子浩二・高松 薫 (1995a) リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因: 下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に注目して. 体育学研究, 40 (1) : 29-39.
- 図子浩二・高松 薫 (1995b) バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因: 筋力および瞬発力に着目して. 体力科学, 44 (1) : 147-154.
- 図子浩二・高松 薫 (1995c) リバウンドジャンプ能力の向上に伴う踏切時間と跳躍高の変化パターン. 永田 晟 編 生体・運動のシステム: スポーツスキルの向上. 第12回日本バイオメカニクス学会大会実行委員会: 埼玉, pp. 306-310.
- 図子浩二・高松 薫・古藤高良 (1993) 各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. 体育学研究, 38 (4) : 265-278.

国内女子一流やり投げ競技者における投てき動作の縦断的变化

瀧川寛子¹⁾, 田内健二¹⁾

A Longitudinal Study of Biomechanical Analysis of Throwing Movement in a Top-Level Female Javelin Thrower

Hiroko TAKIGAWA¹⁾, Kenji TAUCHI¹⁾

Abstract

In the javelin throw, there are many cross-sectional studies of athletes with different performances, but a few studies have reported the longitudinal changes in the throwing movements of individual throwers. Thus, the purpose of this study is to clarify the characteristics of longitudinal changes in the throwing movements of female javelin throwers. The subject is a top-level Japanese female javelin thrower who has participated in world championships. For analysis, the best-recorded trials in the women's javelin throw finals at the Japan National Championships from 2013 to 2019 (2013: 51.38 m, 2015: 52.51 m, 2017: 59.10 m, and 2019: 62.88 m) are considered. The throwing movements of each year are recorded using two video cameras (60 fps). The final rearfoot contact to the forefoot contact is defined as the preparatory phase, and the forefoot contact to release is defined as the delivery phase. We find that the approach velocity is increased and the twist movement of the trunk is emphasized during the preparatory phase as the throwing record improves. Collecting and summarising such case study results can provide insights to develop patterns of the longitudinal changes in individual throwing behaviour and aid coaching.

キーワード：投動作, 運動連鎖, 縦断研究, パフォーマンス, 助走速度

I. 緒言

やり投げの投てき記録は、やりのリリース時における初速度、投射角度、および高さによって決定され、初速度は最も投てき記録に影響するパラメータである (Komi et al., 1985 ; Murakami et al., 2006 ; Whiting et al., 1991). さらに投てき記録が良い選手ほど、助走速度が高い、リリース前の最終的な前足接地時における前脚膝が伸展位であるなど、投てき記録と相関関係がある動作要因についても、パフォーマンスの異なる選手間で投てき動作の比較をした横断的研究によって明らかにされている (Murakami et al., 2006 ; 田内ほか, 2012).

一方、競技現場においては選手個人内におけるパフォーマンスの変化に伴う縦断的な投てき動作の変化を

評価することも重要であるといえる。しかしながら、選手個人の縦断的な変化に焦点をあてた研究は少なく、横断的研究によって得られた知見が個人内の変化にも当てはまるか否かを検討する必要があると考えられる。そこで、村上ほか (2014) は、男子やり投げ世界トップレベル選手を対象に、2007年から2013年までの7年間の追跡調査を行った。その結果、年を経るごと（記録が向上するごと）に、リリース前の最終的な後足接地時において、より体幹部を捻転させた状態から前足接地に移行する動作に変化したことや、投てき腕の肘関節角度がより伸展位になったことなどを報告している。また、田内ほか (2011) は、オリンピック出場経験を有する男子やり投げ選手を対象に、2009年 (69.42m) と2010年 (76.15m) の投てき動作を比較した。その結果、助走速度が向上したことや、リリース前の最終的な後足接地から続く前足接地までにおいて後脚の膝関節がより屈曲位になったことなどを報告している。

しかしながら、上述の研究はいずれも男子選手を対象としており、女子選手について検討したものは限られる。投てき記録に影響する動作要因における男女差について検討した瀧川・田内 (2020) は、女子の方が男子に比べ助走速度が遅かったことや、より体幹が開いた状態（投てき方向に対して体幹が左回旋位）で投てき局面を迎えていたことを報告している。このように、投てき記録に影響する動作要因には男女差が存在することを考慮すると、対象を男子選手のみならず、女子選手も検討することで競技現場においてより有用な知見が得られると考えられる。そこで本研究の目的は、世界選手権出場経験を有する国内トップレベルの女子やり投げ選手を対象として2013年から2019年における縦断的な投てき動作の変化の特徴を明らかにすることとした。

1) 中京大学スポーツ科学部 School of Health and Sport Sciences, Chukyo University
〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101

II. 方 法

1. 分析対象者および試技

分析対象者は、世界選手権出場経験を有する国内トップレベルの女子やり投選手1名（以下、A選手：身長162cm、体重64kg、自己最高記録：62.88m）とした。分析試技は、2013年から2019年までの隔年における日本選手権女子やり投決勝での最も記録の良い試技とした（2013年：51.38m、2015年：52.51m、2017年：59.10m、2019年：62.88m）。以後、各試技は投てきを行った年で表記することとする（2013、2015、2017、2019）。

2. データ収集

各年の投てき動作を2台のビデオカメラ（2013、2015: HVR-A1J, SONY; 2017、2019: HDR-PJ675, SONY）で投てきエリアの側方および後方から撮影した。カメラスピードは60fps、シャッタースピードは1000Hzであった。撮影範囲は、ファウルライン中央より後方6m地点を原点に、縦6m×横4m×高さ2.8mとした。本研究では、投てき方向をY軸、Y軸に対して左右方向をX軸、鉛直方向をZ軸とする右手系の静止座標系を定義した。キャリブレーションにおける各平均誤差は、X軸、Y軸、Z軸でそれぞれ0.006m、0.009m、0.006mであった。身体分析点23点およびやり2点（グリップ、先端）を、ビデオ解析ソフト（Frame-DIAS V, DKH）を用いて、毎秒60コマでデジタイズした。三次元座標値は三次元DLT（Direct Linear Transformation）法により求めた。算出した三次元座標値は、8Hzのバターワース型ローパスデジタルフィルタにより平滑化した。なお、本研究における分析試技の撮影は、日本陸上競技連盟科学委員会のバイオメカニクス研究活動によるものであった。

3. 算出項目

本研究では、リリース前の最終的な後足接地（RFC）

から続く前足接地（FFC）を準備局面、FFCからリリース（REL）までを投局面と定義した（図1）。各年の投てき動作を比較するために、準備局面を0-60%、投局面を60-100%に規格化した。本研究では、以下の1) - 5) をリリースパラメータ（図1）、6) - 9) を基礎的パラメータとし、村上ほか（2014）を基に算出した。

- 1) リリース速度：リリース時のグリップ合成速度
- 2) リリース高：リリース時のグリップと地面との鉛直距離
- 3) リリース角：矢状面内におけるやりの速度ベクトルとY軸とがなす角
- 4) 姿勢角：矢状面内におけるやりのグリップと先端とを結ぶ線分とY軸とがなす角
- 5) 迎え角：姿勢角からリリース角を減じた角
- 6) 助走速度：身体重心の合成速度
- 7) 動作時間：準備局面および投局面の経過時間
- 8) 加速距離：投局面におけるやりのグリップの移動距離
- 9) 歩幅：RFC時の後足つま先からFFC時の前足つま先までの距離
- 10) やりおよび身体各部位の速度：右腰、右肩、やりのグリップの合成速度
- 11) やりおよび身体各部位の相対速度：右腰に対する右肩、右肩に対するやりのグリップの合成速度
- 12) 左膝角度：左脚の大腿と下腿とのなす角
- 13) 肩角度：水平面内における左右肩峰を結ぶ線分とX軸とのなす角
- 14) 腰角度：水平面内における左右大転子を結ぶ線分とX軸とのなす角
- 15) 捻転角度：肩角度から腰角度を減じた角

III. 結 果

表1に投てき記録、リリースパラメータおよび基礎的パラメータを示した。投てき記録は、経年とともに向上

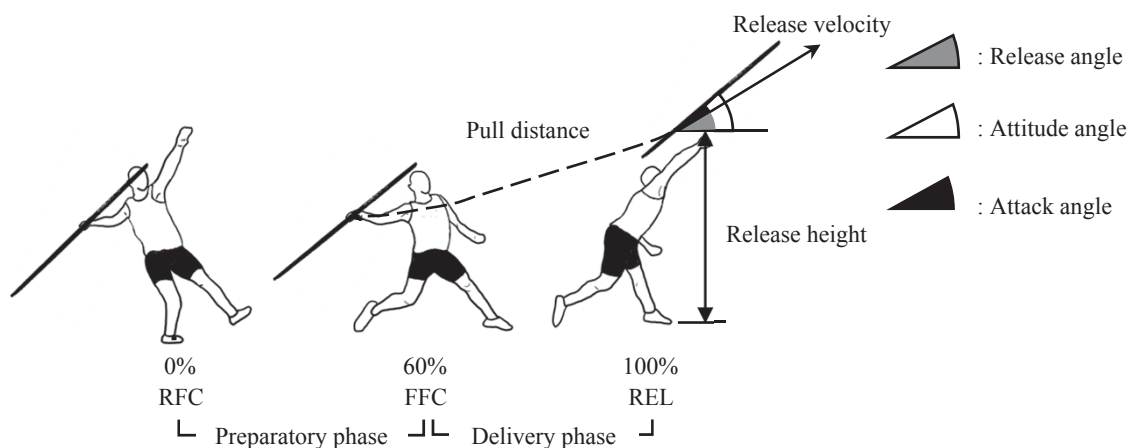


Figure 1 Definitions of the analysis events and the release parameters.

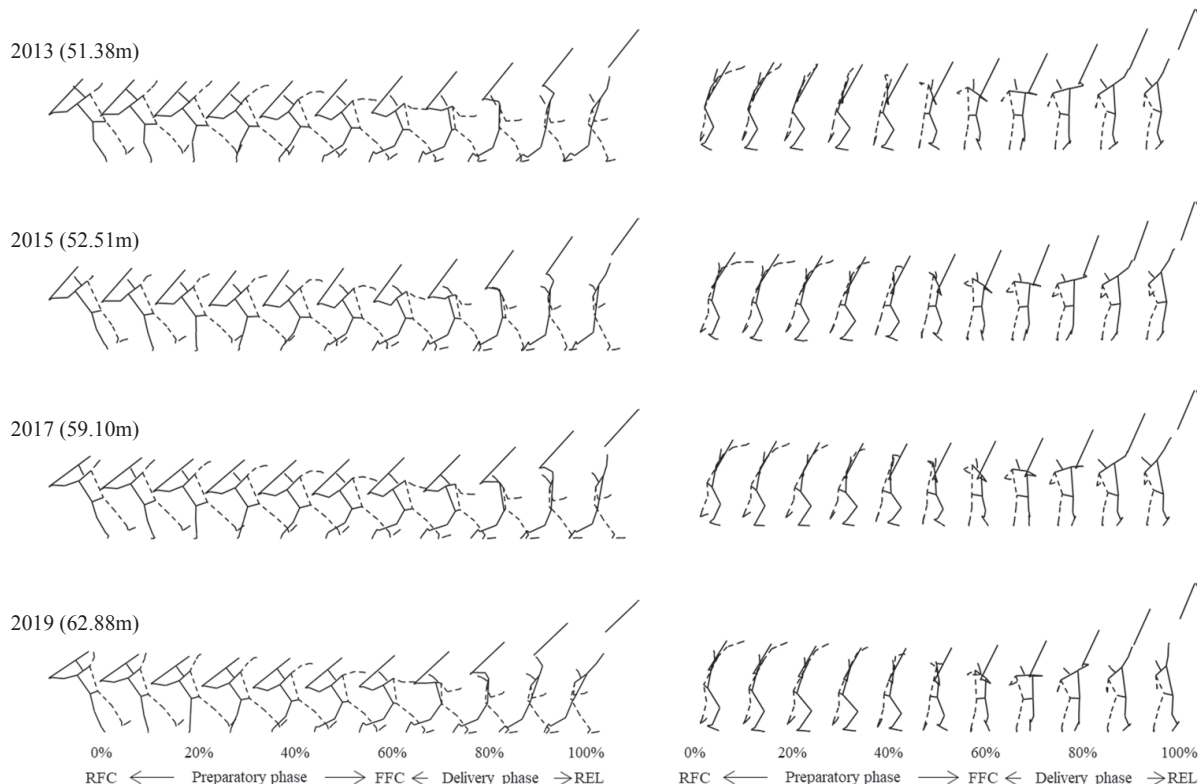
Table 1 Throwing distance, release parameters, and basic parameters.

		2013	2015	2017	2019
Throwing record	[m]	51.38	52.51	59.10	62.88
Release velocity					
Horizontal	[m/s]	18.4	17.1	17.7	19.5
Lateral	[m/s]	0.1	-1.2	1.8	-0.9
Vertical	[m/s]	13.0	13.2	15.2	14.2
Resultant	[m/s]	22.5	21.6	23.4	24.1
Release height	[m]	1.64	1.73	1.69	1.56
Release angle	[deg]	35.3	37.6	40.7	35.9
Attitude angle	[deg]	51.3	51.9	47.3	43.4
Attack angle	[deg]	16.0	14.3	6.6	7.5
Approach velocity					
RFC	[m/s]	5.4	5.5	5.9	5.7
FFC	[m/s]	4.1	4.3	5.2	4.7
REL	[m/s]	2.7	2.4	2.5	2.4
Duration					
Preparatory	[s]	0.217	0.233	0.183	0.217
Delivery	[s]	0.117	0.117	0.117	0.133
Pull distance	[m]	1.27	1.29	1.24	1.66
Step length					
Horizontal	[m]	1.45	1.44	1.44	1.57
Lateral	[m]	-0.25	-0.28	-0.23	-0.29

した。リリース速度は、経年とともに向上する傾向を示し、2019 が最も大きな値を示した。リリース高は、2015 が最も大きな値を示し、以降は減少した。リリース角は、2017 まで経年とともに増加し、2019 に減少した。姿勢角は、2015 まで増加し、2017 以降減少した。迎え角は、経年とともに減少する傾向を示し、2017 が最も小さな値を示した。助走速度は、RFC 時および FFC 時において、経年とともに増加する傾向を示し、REL 時においては 2013 が最も高値を示した。局面時間は、準備局面において 2017 が最も短く、投局面においては 2019 のみ長い時間を示した。加速距離および、歩幅における前後および左右方向は 2019 が最も大きな値を示した。

図 2 に側方 (YZ 平面) および後方 (XZ 平面) からみた各スティックピクチャを示した。側方からみたスティックピクチャでは、2017、2019 は他の年と比べ、投局面の左膝が伸展位になっていることが観察された。後方から見たスティックピクチャでは、2013 以降徐々に FFC 時におけるやりのグリップがより投てき方向に対して右回旋位に位置していることが観察された。また、FFC 付近においては 2019 が他の年と比べて腰が投てき方向に対して左回旋し、体幹部が大きく捻られていることが観察された。

図 3 にやりおよび身体各部位の速度とやりおよび身体各部位の相対速度の時系列変化を示した。やりおよび身体各部位の速度は、すべての年において右腰の速度が減

**Figure 2 Stick pictures from the side (YZ plane) and the back (XZ plane) views.**

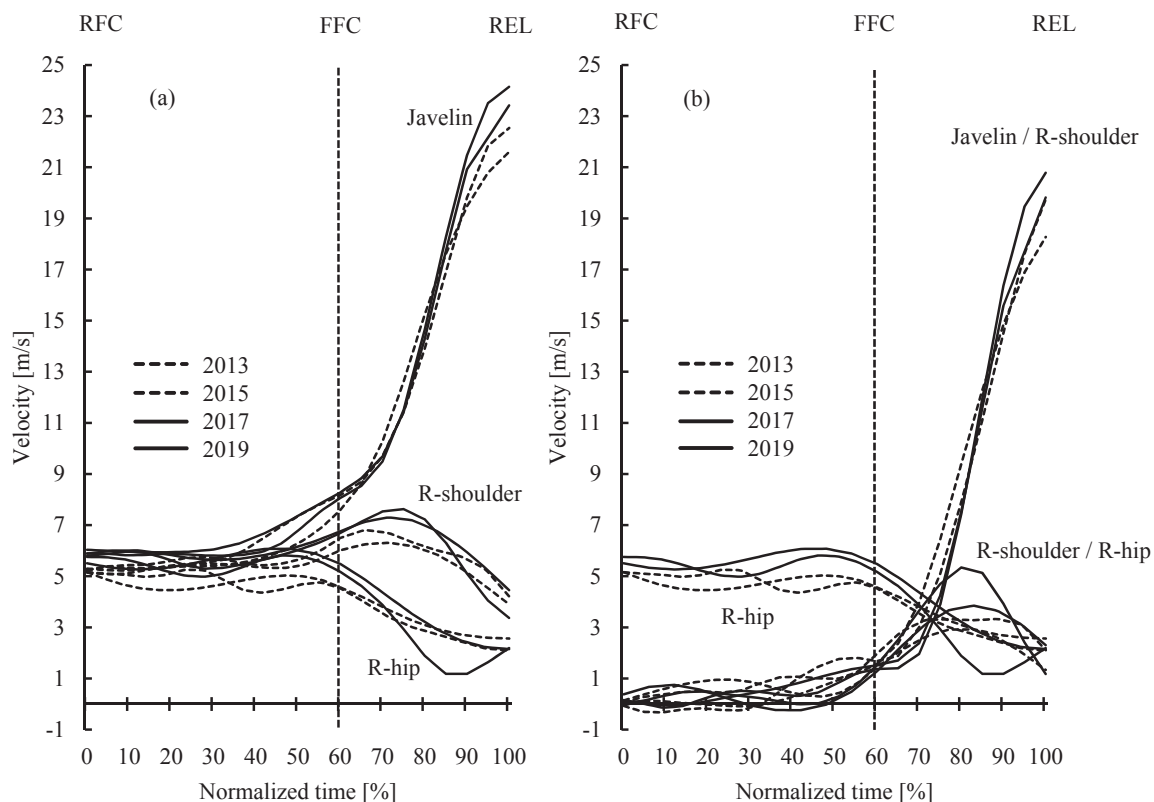


Figure 3 Resultant and relative velocities of the javelin and each body parts. (a) Velocity of the javelin and each body part: resultant velocity of the right hip, right shoulder, and grip of the javelin. (b) Relative velocity of the javelin and each body part: resultant velocity of the right shoulder relative to the right hip and grip of the javelin relative to the right shoulder.

少しした後、右肩、やりの速度のピーク値が順に出現するパターンを示した。各年を比較すると、右肩およびやりの速度のピーク値、右腰に対する右肩および右肩に対するやりの速度のピーク値が経年とともに大きくなっていった。

図4に左膝角度の時系列変化を示した。左膝角度は、各年ともにFFCの直後に屈曲し、その後RELまでに伸展するパターンを示した。各年を比較すると、2017および2019が他の年よりもFFC時においてより伸展位であり、投局中においては2019がより伸展位を維持し

ていた。

図5に肩、腰、および捻転角度を示した。肩および腰角度は各年ともに、RFC時に右回旋位を示し、RELまでに左回旋していくパターンを示した。捻転角度は、各年ともにRFC時に負の値（腰に対して肩が右回旋位）を示し、RELまでに正の値（腰に対して肩が左回旋位）へと移行するパターンを示した。各年を比較すると、肩角度は、いずれの年もほぼ同等であり、腰角度は、準備局面において2017および2019が他の年と比べ大きな値を示した。その結果、捻転角度は準備局面において、2017および2019が他の年と比べ大きな負の値を示した。

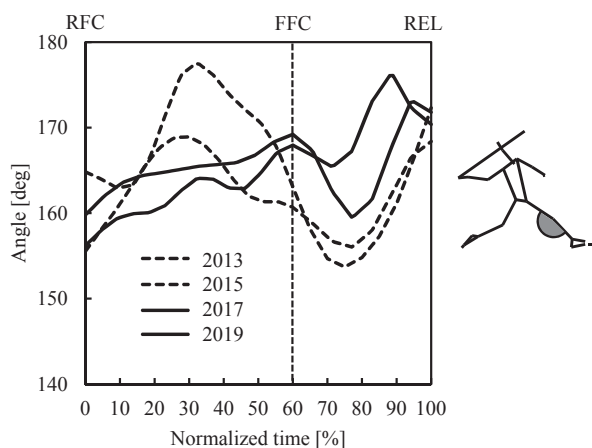


Figure 4 Angle of the left knee for each year.

IV. 考 察

A選手は、高校および学生時代に当時の高校記録、学生記録を更新し、2019年には世界選手権に出場するなど、ジュニア時代からシニアに至るまで日本のやり投げ界においてトップレベルの選手である。本研究では、当該選手の2013年から2019年における縦断的な投てき記録の変化に伴う投てき動作の変化について検討した。

その結果、リリース速度は投てき記録の増加に伴って向上し、迎え角は2017、2019が他の年と比べて小さい値を示した（表1）。多くの先行研究において、リリース速度は投てき記録との間に高い正の相関関係があることが報告されている（Komi et al., 1985 ; Murakami et al.,

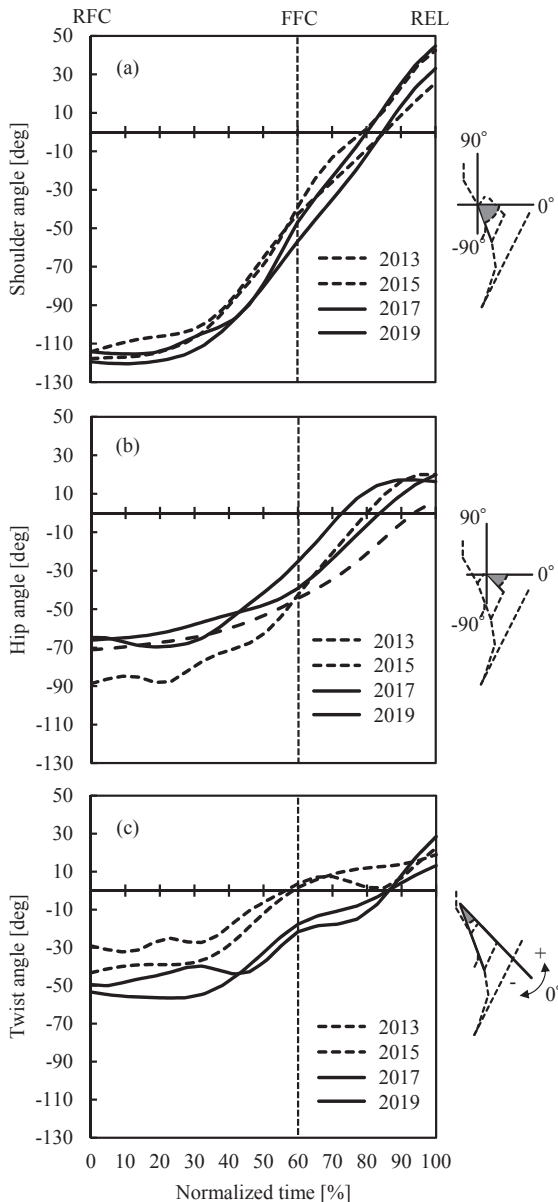


Figure 5 Angle of the shoulder, hip, and twist for each year.

2006; Whiting et al., 1991). また、迎え角については、投てき記録との間に負の相関関係があること (Murakami et al., 2017), 最適値は0度から-2.5度でありリリース初期にやりに加わる抗力を減らすために小さく抑える必要があること, などが報告されている (Hubbard and Alaways, 1987). これらのことから, リリース速度が向上したこと, および迎え角が減少したことが2017以降の大幅な投てき記録の向上につながったと考えられる.

基礎的パラメータをみると, 助走速度はRFCおよびFFC時において, 2017, 2019が他の年と比べて高値を示した (表1). 田内ほか (2012) は, 助走速度がやり投げのパフォーマンスに対して優先度が最も高いことを報告している. また, 田内ほか (2011) は, ロンドンオリンピック日本代表のディーン元気選手において, 縦断的な投てき記録の向上には助走速度の増大が影響してい

たと報告している. 助走速度が高まることは, 身体の運動エネルギーが増加していることを意味しており, A選手においても, 大きな運動エネルギーを獲得した状態で投局面を迎えるように変化したことが示唆された. その他の基礎的パラメータをみると, 投局面における局面時間および加速距離は2019が最も長かった. FFC後から急激に加速するやりのリリース速度を増大させるためには, 投局面において長い加速距離を獲得することが重要であるが, A選手においては投局面における局面時間を長くすることによってやりを長く押す動作へと変化していたことが推察された.

本研究では, A選手における投てき動作の変化をより詳細に検討するために, 動作時間によって規格化した各年のスティックピクチャを観察し, 比較した. 側方からのスティックピクチャでは, 2017, 2019は他の年と比べて投局面における左膝が伸展位になっていることが観察された (図2). 後方からのスティックピクチャでは, 2017, 2019は他の年と比べて準備局面におけるグリップの位置がより右回旋位であり, 体幹部がより捻転していることが観察された (図2). これらのスティックピクチャから観察された観点をもとに, 本研究では身体各部位の速度, 身体各部位の相対速度, 体幹部および左膝の動作について分析を行うこととした.

身体各部位の速度は, すべての年において中心部から末端部にかけて順次速度が向上する運動連鎖のパターンを示した. また, 投てき記録の向上とともに右肩およびやりの速度のピーク値が高くなり, 最も投てき記録の良い2019では投局面における右腰の減速が大きかった (図3a). 身体各部位の相対速度をみても, 2019における右腰に対する右肩の速度のピーク値が最も高い (図3b) ことから, 2019の試技では助走速度によって得たエネルギーを, FFCを機に下半身から上半身へと伝達していたことが示唆された. この下半身から上半身へのエネルギー伝達には左脚の動作が大きく影響することや (Morriss et al. 2001), 投てき記録の良い選手ほどFFC時において左膝が伸展位であること (Murakami et al., 2006) が報告されている. A選手においても, 投てき記録の良い2017および2019は投局面において左膝がより伸展位となっていた (図4) ことから, より効果的なエネルギー伝達が可能となり右肩およびやりの速度増大につながったと考えられる.

続いて, 右肩の速度が向上した要因についてより詳細に探るために体幹部の動作について検討した. 肩角度は各年間に大きな差異はなく (図5a), 腰角度では2017, 2019が他の年と比べてRFC時により左回旋位 (より骨盤が投てき方向を向いた状態) であった (図5b). その結果, 2017, 2019は他の年と比べて準備局面中における体幹の捻転が大きくなっていた (図5c). 田内・遠藤 (2009) は, ダイナミックな身体運動においては, 捻転

動作を強調することが、エネルギーの発生源としての体幹の役割を大きくすると報告している。A選手においても、準備局面における体幹部の捻転動作が強調されたことによって、捻り戻しの際に大きな力発揮が可能となったと考えられる。同様の変化は、村上ほか（2014）の縦断研究においても報告されている。しかしながら、男子やり投げ選手91名を対象とした田内ほか（2012）の報告では、捻転角度と投てき記録との間に相関関係が認められていない。そのため、体幹の捻転動作は必ずしも投てき記録を決定する要因とは言えないが、個人の投てき記録の向上には重要な動作であることが考えられる。また、Whiting et al. (1991) は、体幹部の回旋に影響する動作要因として左膝角度を挙げていることから、A選手において左膝が伸展位へと変化したことはこの体幹部の捻り戻しの動作にも影響したと考えられる。

以上のことから、A選手の投てき記録の向上に伴う投てき動作の変化の特徴として、助走速度が向上したこと、準備局面において体幹部の捻転動作が強調されたこと、投局面において左膝が伸展位になったこと、などが挙げられた。したがって、2017以降では下半身から上半身への効果的なエネルギー伝達や、体幹部の捻り戻しによる大きな力発揮によって、やりのリリース速度を高めることが可能となったと考えられる。

V. まとめ

本研究では、女子やり投げ競技者における投てき動作の縦断的な変化の特徴を明らかにすることを目的とした。世界選手権出場経験を持つ国内トップレベルの女子やり投げ競技者1名を対象に2013年から2019年までの投てき記録の変化に伴う投てき動作の変化について検討した。その結果、投てき記録の向上に伴って、準備局面においては助走速度が向上し、体幹部の捻転動作が強調され、投局面においては左膝がより伸展位になったことが明らかとなった。

これらのことから、先行研究によって報告されてきた投てき記録に影響する動作要因は、個人の縦断的な投てき記録の変化にも適合すること、およびそれ以外の特徴が存在することが示唆された。このように個人の縦断的な投てき動作の変化について検討することは、多くの対象を用いた研究とは異なる知見を得られると考えられる。今後このような事例研究を累積していき、個人の縦断的な投てき動作の変化についてパターン化することは、指導現場への一助となるだろう。

謝辞

本研究の実施にあたり、調査にご協力いただいた佐藤友佳氏に、心より感謝申し上げます。

付記

本研究の一部は、日本コーチング学会・2020年度研究助成の支援を受けて実施された。

文献

- Hubbard, M. and Alaways, L. W. (1987) Optimum release conditions for the new rules javelin. *J. Appl. Biomech.*, 3(3): 207-221.
- Komi, P. V. and Mero, A. (1985) Biomechanical analysis of Olympic javelin throwers. *J. Appl. Biomech.*, 1(2): 139-150.
- Morriss, C., Bartlett, R. and Navarro, E. (2001) The function of blocking in elite javelin throws: A re-evaluation. *Journal of human movement studies*, 41(3): 175-190.
- Murakami, M., Tanabe, S., Ishikawa, M. and Ito, A. (2017) The relationship between approach run kinematics and javelin throwing performance. *Asian Journal of Coaching Science*, 1(1): 1-14.
- Murakami, M., Tanabe, S., Ishikawa, M., Isolehto, J., Komi, P. V. and Ito, A. (2006) Biomechanical analysis of the javelin at the 2005 IAAF World Championships in Athletics. *New studies in Athletics*, 21(2): 67-80.
- 村上幸史・塚田卓己・遠藤俊典・田内健二（2014）やり投げ世界トップレベル選手における投てき動作の縦断的变化—2007年から2013年までの7年間の追跡調査—。陸上競技研究，3：36-43。
- 瀧川寛子・田内健二（2020）やり投げの投てき記録に影響を及ぼす動作要因における男女差の検討。体育学研究，65: 595-606。
- 田内健二・遠藤俊典（2009）陸上競技の投てき種目における体幹の捻転動作の役割（特集 体幹の捻転動作）。バイオメカニクス研究，13（3）：170-178。
- 田内健二・遠藤俊典・藤田善也・矢野恵太・藤井宏明・大宅和幸（2011）ディーン元気選手におけるやり投動作の縦断的变化—2009年と2010年との比較から—。陸上競技研究紀要，7：50-54。
- 田内健二・藤田善也・遠藤俊典（2012）男子やり投げにおける投てき動作の評価基準。バイオメカニクス研究，16（1）：2-11。
- Whiting, W.C., Gregor, R.J. and Halushka, M. (1991) Body segment and release parameter contributions to new-rules javelin throwing. *Int. J. Sport Biomech.*, (2): 111-124.

東京 2020 オリンピックのマラソン、競歩における 環境条件とパフォーマンスの検討

橋本 峻¹⁾, 岡崎和伸²⁾, 河村亜希^{1,3)}, 杉田正明¹⁾

Study on environmental conditions and performance in the Tokyo 2020
Olympic Games marathon and racewalking

Shun HASHIMOTO¹⁾, Kazunobu OKAZAKI²⁾, Aki KAWAMURA^{1,3)}, Masaaki SUGITA¹⁾

Abstract

The purpose of this study was to examine the effects of the heat environment on marathon and racewalking performances at the Tokyo 2020 Olympics Games. The study was conducted in the marathon and racewalking of the Tokyo 2020 Olympic Games. Wet-bulb globe temperature (WBGT), air temperature, relative humidity, and globe temperature were measured from 30 minutes before each race to 30 minutes after the top finishers finished. The rankings, records, and personal best records before the Games were extracted from the World Athletics website. The average WBGT during the race ranged from 24.79°C to 28.21°C, which was within the range of caution for the men's marathon, but in the other events it was above warning. The mean performance decrement was $-7.4 \pm 3.5\%$ in the men's marathon, $-7.6 \pm 4.7\%$ in the women's marathon, $-8.0 \pm 4.7\%$ in the men's 20kmW, $-7.8 \pm 4.7\%$ in the women's 20kmW, and $-7.5 \pm 5.2\%$ in the men's 50kmW, representing a decline of more than 7%, but only about 4% in the top 24. In the relationship between the ranking in the top 24 and the rate of decline in performance, a relationship was observed in which the rate of decline decreased with better performance at 50kmW ($P < 0.05$). These results indicate that when competing in the WBGT environment from caution to severe caution levels at the Tokyo 2020 Olympics, the rate of decrease is about 4% for the top athletes, and that reducing the decrease in performance has an impact on performance in long-duration events such as 50kmW.

キーワード：暑熱環境, WBGT, マラソン, 競歩, 東京オリンピック

1. 緒言

2021年に開催された東京2020オリンピックにおける陸上競技のマラソン、競歩競技は、当初東京都にて開催される予定であったが、北海道札幌市にて開催された。この開催地の変更は、オリンピック開催前から夏場の東

京は高温多湿な酷暑環境になると懸念されていたことに加え、2019年にカタールのドーハにおいて酷暑環境の中で開催された世界陸上競技選手権大会のマラソン、競歩競技で多くの途中棄権者がでたことによって行われた。

運動を行う際には活動筋において多くのエネルギーが必要とされ、エネルギーの産生に伴い熱も産生されるため体温が上昇しやすくなるが、暑熱環境下での運動時には環境からの影響も受けることからさらに体温が上昇しやすくなる。先行研究において気温が3°C、20°C及び40°Cの環境温度下で一定負荷の自転車運動を行わせたところ、40°Cの環境温度下において身体核心部の温度である深部体温が運動開始10分後以降に他の環境温度下よりも有意に高い値となり、運動継続時間も短くなったことが報告されている (Parkin et al., 1999)。また、運動開始前に深部体温を上昇 (加温) あるいは低下 (冷却) させてから暑熱環境下において一定負荷の自転車運動を行わせた場合、運動開始時の体温によって運動継続時間は異なるものの、疲労困憊に至った際の深部体温は全ての条件において40°C程度で同じであったことや (Gonzalez-Alonso et al., 1999)、暑熱順化を獲得させることで運動継続時間は延長するものの、疲労困憊時の深部体温は40°C前後で変化がなかったこと (Nielsen et al., 1993) なども報告されており、深部体温が運動パフォーマンスの主な制限要因とされている。さらに、Hasegawa and Cheung (2013) の総説では暑熱環境や運動による深部

1) 日本体育大学体育学部 Faculty of Sport Science, Nippon Sport Science University
〒158-8508 東京都世田谷区深沢 7-1-1

2) 大阪公立大学都市健康・スポーツ研究センター Research Center for Urban Health and Sports, Osaka City University
〒530-0011 大阪府北区大深町 3-1 グランフロント大阪北館タワー C 9F

3) 金沢大学ナノ生命科学研究所 Nano Life Science Institute, Kanazawa University
〒920-1192 金沢市角間町

体温の上昇に伴い、末梢性及び中枢性の要因が絡み合い疲労困憊などの運動制限を引き起こすとされており、暑熱環境下では深部体温上昇が引き起こされやすく、長時間運動のパフォーマンスに悪影響を及ぼすことが明らかとなっている。

これまでに暑熱環境が陸上競技のパフォーマンスに及ぼす影響の検討は多く行われている。1999年～2011年の間に開催された世界陸上競技選手権大会における走種目の記録を、気温が25℃未満と25℃以上で比較したところ100m、200m、400mの短距離種目においては25℃以上の環境でパフォーマンスが良かったものの、5000m、10000m、マラソンの長距離種目ではパフォーマンスが低下することが報告されている (Guy et al., 2015)。また、マラソン大会における競技記録と熱中症予防指数である湿球黒球温度 (Wet-bulb globe temperature : WBGT) の関係性を検討した研究においては WBGT が上昇するほどパフォーマンスの低下率が大きくなることが報告されている (Ely et al., 2007)。さらに、マラソン、50kmW、20kmW、10000m、5000m、3000m 障害の競技記録と気象環境の関係性を検討した研究においても、WBGT が 7.5 ～ 15℃ の範囲でパフォーマンスが最も良くなり、それ以上に上昇するとパフォーマンスが低下していくことが報告されており (Mantzios et al., 2022)、WBGT を始めとした気象環境パラメータは競技場面におけるパフォーマンスにも影響を及ぼすことが明らかとなっている。しかしながら、オリンピックや世界選手権の各大会を対象として気象環境が各選手のパフォーマンスに及ぼす影響を検討した研究はほとんど行われていない。大会ごとに気象環境とパフォーマンスの関係性を検討することで、気象環境がどの程度パフォーマンスに影響を与えたのか評価を行えるとともに、暑熱環境における戦略の妥当性などの評価につながるものと考えられる。

そこで本研究では、東京 2020 オリンピックにおけるマラソン、競歩競技時の気象環境及び競技パフォーマンスについて検討し、東京 2020 オリンピック時の気象環境が競技パフォーマンスに及ぼした影響を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

本研究では 2021 年 7 月 23 日から 8 月 8 日までの間に開催された東京 2020 オリンピックにおける陸上競技の男女マラソン、男女 20kmW、男子 50kmW に出場した 368 名の選手を対象として環境測定、パフォーマンスの検討を実施した。

2.1 環境データ測定

本研究では東京オリンピックのコースとなっていた北海道札幌市の大通公園付近にて環境測定を実施した。環境測定は暑熱環境計 (WBGT-101, 京都電子工業製) を

用い、レース開始時刻の 30 分前からトップ選手ゴール後 30 分間の、湿球黒球温度 (WBGT)、気温、相対湿度、黒球温度を 1 分間隔で連続測定した。各レースにおける環境データはレースのスタート時刻から全選手がゴールした時刻もしくはトップ選手のゴールから 30 分後の時刻のどちらか短いほうを用いて平均値を算出した。

2.2 運動パフォーマンス

東京オリンピックにおける各選手の順位及びタイム、東京オリンピック前までのベスト記録は World Athletics のホームページ (<https://worldathletics.org/>) より抽出した。各レースの実施日以前に記録した最高記録をベスト記録として採用した。また、東京オリンピックでのタイム及びベスト記録は秒換算し、ベスト記録に対するパフォーマンス低下率を算出するとともに、全選手及びトラック種目の準決勝進出レベルである上位 24 位の平均値を算出した。なお、男女のマラソンにおいて自己記録が参加標準記録よりも遅かった 2 名の選手 (男子：2 時間 11 分 30 秒以上、女子：2 時間 29 分 30 秒以上) は平均値の算出や統計検定時のデータからは除外した。

2.3 データ分析

統計処理は分析ソフト SPSS Statistics 27 を用いた。気象環境データ及びパフォーマンス低下率の種目間比較には一元配置分散分析 (one-way ANOVA) を用い、種目間に有意差が認められた場合、等分散の場合は Tukey HSD 法を、不当分散の場合は Games-Howell 法を用いて事後検定を行った。また、順位、ベスト記録及びレース時のパフォーマンス低下率の相関関係を Pearson の積算相関係数を用いて検討した。なお、全ての分析について有意水準は 5% とした。

3. 結果

3.1 レース中の気象環境条件

図 1 に各レース中のスタート時、トップ選手ゴール時、平均の気象環境を示した。WBGT はスタート時、トップ選手ゴール時、平均の順で男子マラソンでは 24.5℃、24.7℃、24.79 ± 0.27℃ (平均値 ± 標準偏差、以下同)、女子マラソンで 24.8℃、28.3℃、26.93 ± 1.25℃、男子 20kmW で 29.8℃、27.3℃、27.84 ± 0.68℃、女子 20kmW で 29.3℃、27.7℃、27.97 ± 0.42℃、男子 50kmW で 24.2℃、30.9℃、28.21 ± 2.38℃ となり、男子マラソンの平均値は他の 4 種目の平均値よりも有意に低く (P < 0.001)、女子マラソンの平均値も男女 20kmW 及び男子 50kmW の平均値よりも有意に低い値が認められた (P < 0.001)。気温の平均値も男子マラソンで他の 4 種目よりも有意に低く (P < 0.001)、女子マラソンも男女 20kmW、男子 50kmW よりも有意に低い値が認められた (P < 0.001)。相対湿度の平均値は男子マラソンで他の 4 種目よりも有

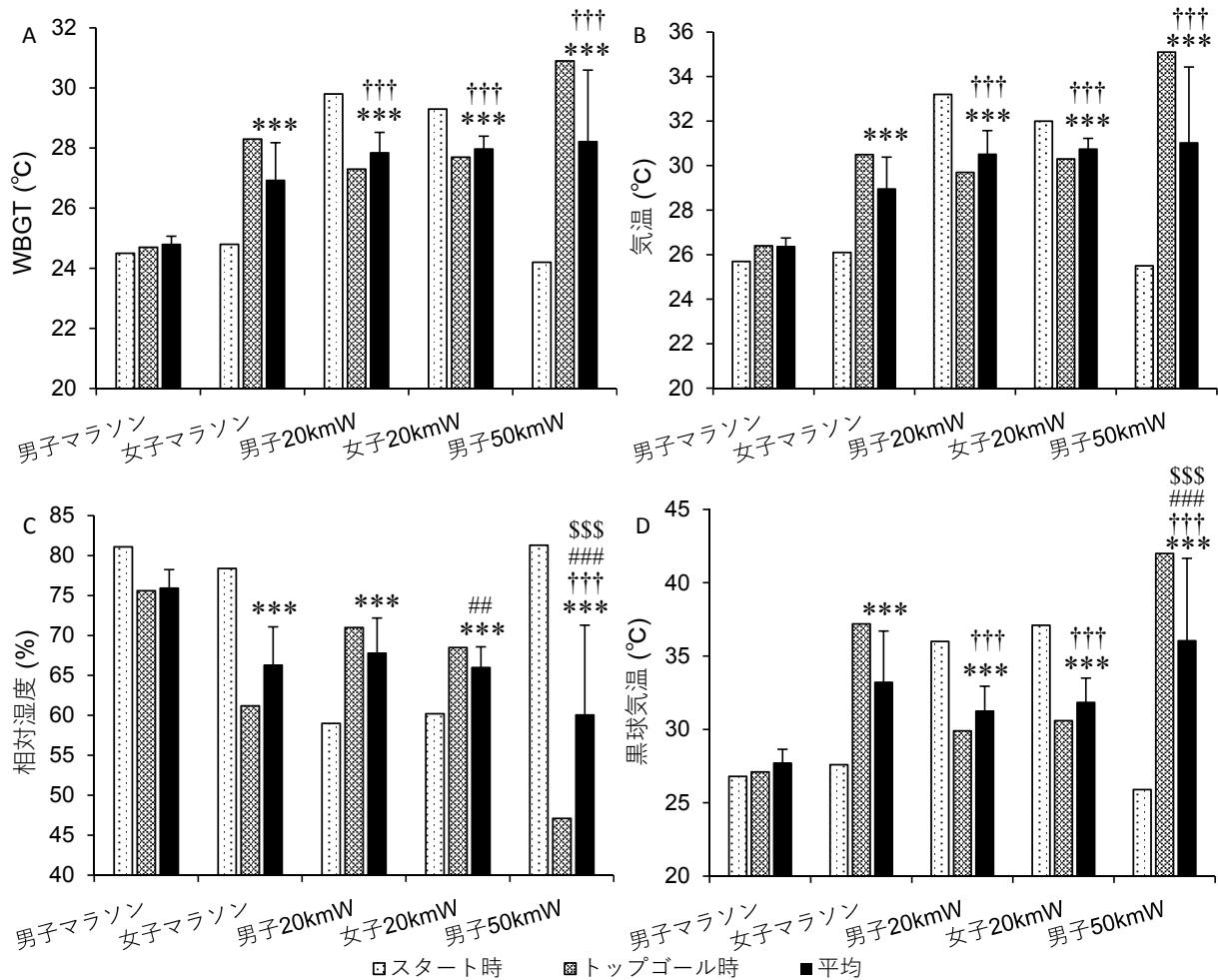


図1 レース時の環境データ

A: WBGT, B: 気温, C: 相対湿度, D: 黒球温度

***; $P < 0.001$ vs. 男子マラソン, †††; $P < 0.001$ vs. 女子マラソン, ##; $p < 0.01$ vs. 男子20kmW, ###; $P < 0.001$ vs. 男子20kmW, \$\$; $P < 0.01$ vs. 女子20kmW, \$\$\$; $P < 0.001$ vs. 女子20kmW

意に高い値が認められるとともに ($P < 0.001$), 男子50kmWで女子マラソン, 男女20kmWよりも有意に低く ($P < 0.001$), 女子20kmWで男子20kmWよりも有意に低い値が認められた ($P < 0.01$). 黒球温度の平均値は男子マラソンで他の4種目よりも有意に低く ($P < 0.001$), 男子50kmWで女子マラソン, 男女20kmWよりも有意に高く ($P < 0.001$), 女子マラソンで男女20kmWよりも有意に高い値が認められた ($P < 0.001$).

3.2 レースにおけるパフォーマンス低下率

図2~4に男女マラソン, 男女20kmW, 男子50kmWの各選手のパフォーマンス低下率を, 図5に種目ごとのパフォーマンス低下率の平均値を示した. 各選手のパフォーマンス低下率は, 全ての種目において上位の選手よりも下位の選手において低下率が大きくなる結果であった. パフォーマンス低下率の各種目における全選手の平均値は男子マラソンで $-7.4 \pm 3.5\%$ (最小: -2.01% , 最大: -18.14%), 女子マラソンで $-7.6 \pm 4.7\%$ (最小:

-1.76% , 最大: -22.89%), 男子20kmWで $-8.0 \pm 4.7\%$ (最小: 0.53% , 最大: -23.35%), 女子20kmWで $-7.8 \pm 4.7\%$ (最小: -1.09% , 最大: -23.55%), 男子50kmWで $-7.5 \pm 5.2\%$ (最小: 0.41% , 最大: -28.61%) となった. また, 上位24位までの平均値は男子マラソンで $-4.0 \pm 1.3\%$ (最小: -2.01% , 最大: -7.20%), 女子マラソンで $-4.7 \pm 1.9\%$ (最小: -1.76% , 最大: -10.09%), 男子20kmWで $-4.5 \pm 1.6\%$ (最小: 0.53% , 最大: -6.70%), 女子20kmWで $-4.4 \pm 2.1\%$ (最小: -1.09% , 最大: -9.64%), 男子50kmWで $-4.1 \pm 2.7\%$ (最小: 0.41% , 最大: -10.13%) となり, 全選手, 上位24位ともに低下率に種目間の差は認められなかった.

3.3 順位, ベスト記録, パフォーマンス低下率の関係性

表1に順位とベスト記録, パフォーマンス低下率の相関係数を, 表2にベスト記録とパフォーマンス低下率の相関係数を示した. 全選手における順位とベスト記録の間には有意な正の相関関係が (男子50kmW: $P < 0.05$,

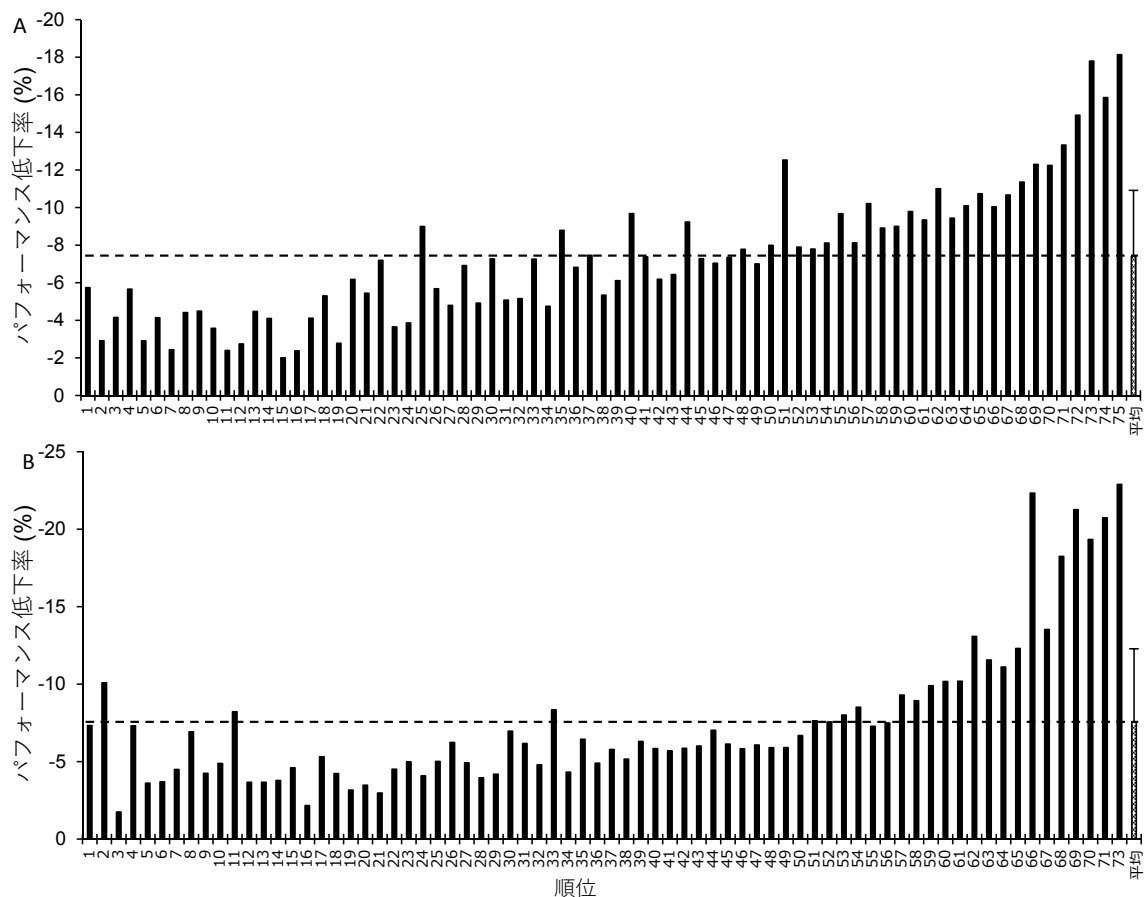


図2 男女マラソンにおけるベスト記録に対するパフォーマンス低下率
A：男子マラソン，B：女子マラソン

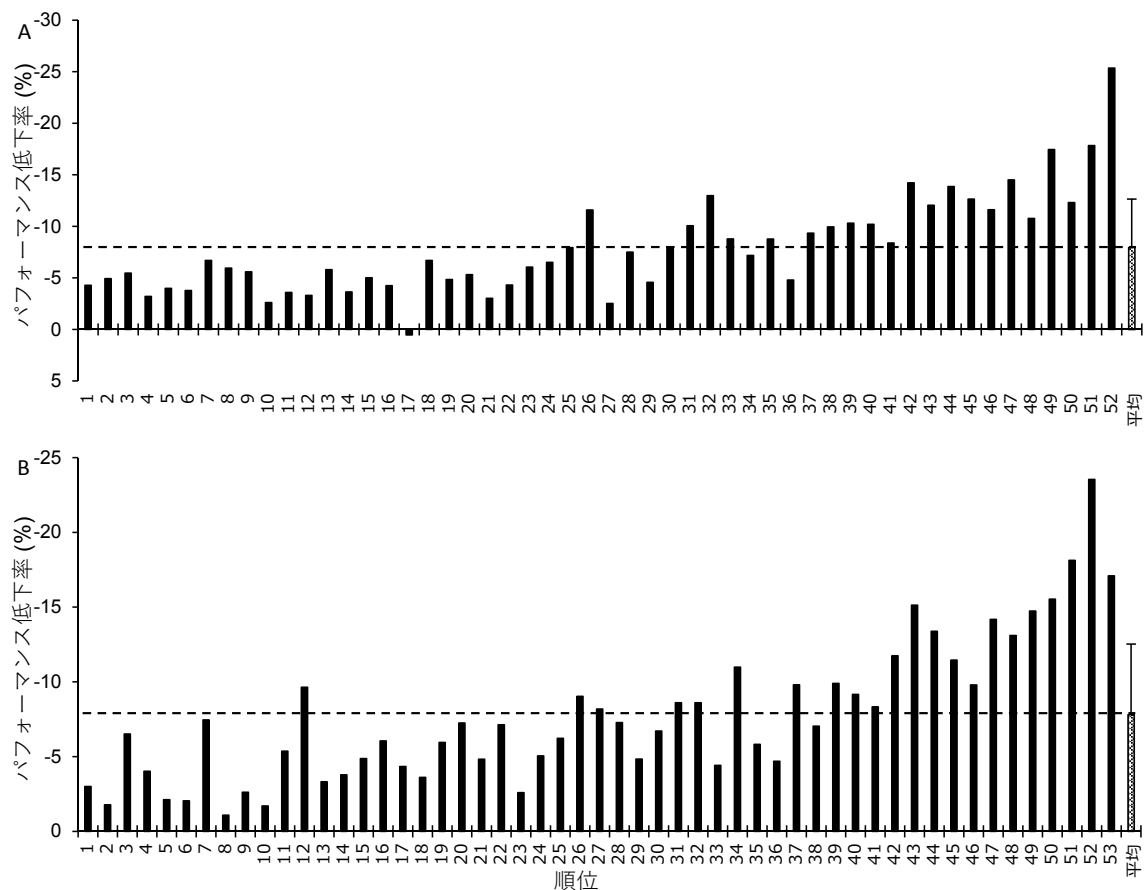


図3 男女20kmWにおけるベスト記録に対するパフォーマンス低下率
A：男子20kmW，B：女子20kmW

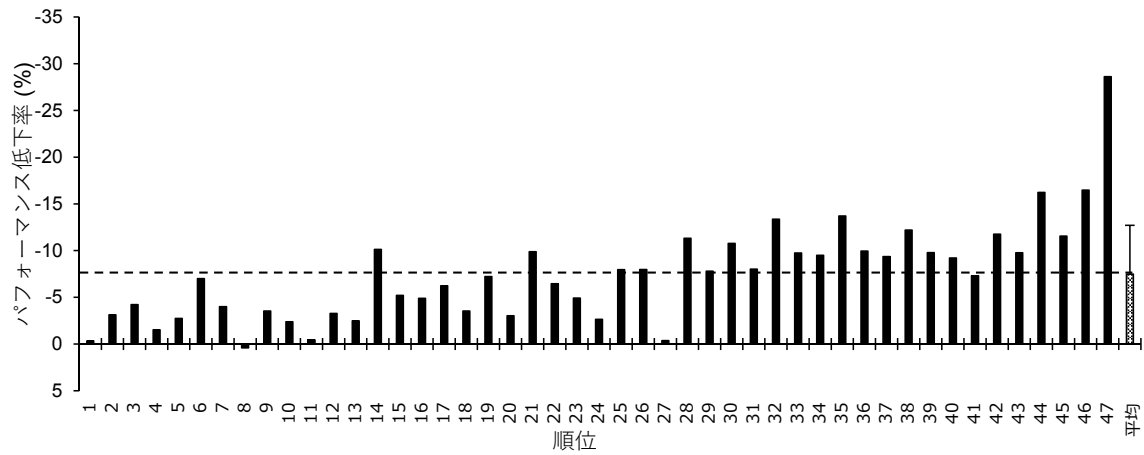


図4 男50kmWにおけるベスト記録に対するパフォーマンス低下率

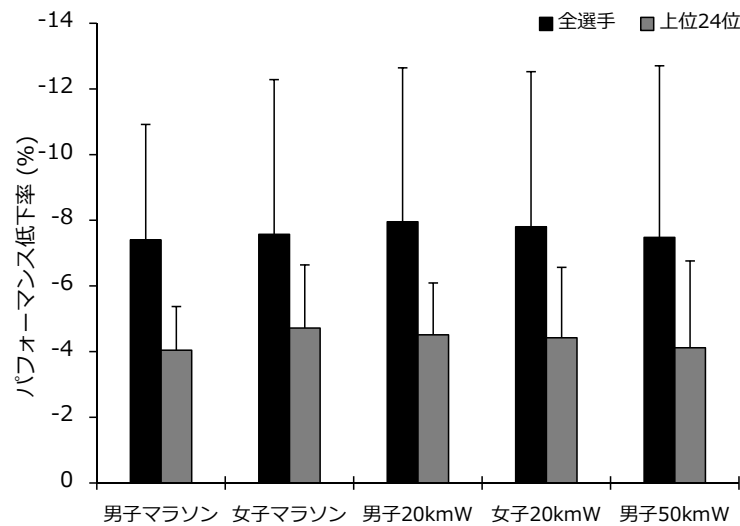


図5 ベスト記録に対するパフォーマンス低下率

表1 順位とベスト記録、パフォーマンス低下率の関係性

		順位				
		男子マラソン	女子マラソン	男子20kmW	女子20kmW	男子50kmW
全選手	ベスト記録	0.540 ***	0.473***	0.482***	0.484***	0.296*
		n = 75	n = 72	n = 52	n = 53	n = 47
	低下率	-0.868***	-0.719***	-0.792***	-0.820***	-0.764***
		n = 24	n = 24	n = 24	n = 24	n = 24
上位24位	ベスト記録	0.720***	0.770***	0.685***	0.523**	0.182
		n = 75	n = 72	n = 52	n = 53	n = 47
	低下率	-0.160	0.405*	-0.058	-0.327	-0.443*
		n = 24	n = 24	n = 24	n = 24	n = 24

*, P < 0.05, **, P < 0.01, ***, p < 0.001

表2 ベスト記録に対するパフォーマンス低下率の関係性

		パフォーマンス低下率				
		男子マラソン	女子マラソン	男子20kmW	女子20kmW	男子50kmW
ベスト記録	全選手	-0.131	0.164	0.088	0.069	0.230
		n = 75	n = 72	n = 52	n = 53	n = 47
	上位24位	0.564 **	0.887 ***	0.686 ***	0.610 **	0.797 ***
		n = 24	n = 24	n = 24	n = 24	n = 24

, $P < 0.01$, *, $p < 0.001$

その他： $P < 0.001$ ），順位とパフォーマンス低下率との間には有意な負の相関関係が認められた（ $P < 0.001$ ）。上位24位に絞った検討では順位とベスト記録の間には男子50kmW以外において有意な正の相関関係が認められたが（女子20kmW： $P < 0.01$ ，それ以外： $P < 0.001$ ），順位と低下率間では女子マラソンにおける正の相関関係と男子50kmWにおける負の相関関係のみ認められた（ $P < 0.05$ ）。全選手におけるベスト記録とパフォーマンス低下率の間には有意な相関関係は認められなかったものの，上位24名における関係性では有意な正の相関関係が認められた（男子マラソン及び女子20kmW： $P < 0.01$ ，女子マラソン，男子20kmW及び男子50kmW： $P < 0.001$ ）。

4. 考察

本研究の目的は東京2020オリンピックにおけるマラソン，競歩競技時の気象環境及び競技パフォーマンスについて検討し，東京2020オリンピック時の気象環境が競技パフォーマンスに及ぼした影響を明らかにすることであった。レース時の気象環境はWBGTが24.79～28.21℃となり，日本スポーツ協会ガイドライン（川原ら，2019）の注意から嚴重警戒と熱中症の危険性が高い環境となり，パフォーマンス低下率も各種目の平均値で-7.4～-8.0%程度の低下率であった。

熱中症予防指数であるWBGTは，Yaglou and Minard（1956）によって提唱されたものであり，乾球温度，湿球温度及び黒球温度より算出されることから，気温のみでなく湿度や輻射熱，気流と言った身体と環境間の熱伝導に影響する項目を反映した指数となっている。日本スポーツ協会が発行している熱中症予防ガイドブック（川原ら，2019）ではWBGTを用いて熱中症予防運動指針を作成しており，21℃（気温24℃，以下同）未満はほぼ安全，21℃以上25℃未満（24℃，28℃）で注意，25℃以上28℃未満（28℃，31℃）で警戒，28℃以上31℃未満（31℃，35℃）で嚴重警戒，31℃（35℃）以上で運動は原則中止とされている。他にもアメリカスポー

ツ医学会（Armstrong et al., 1997）やWorld AthleticsのCompetition Medical Guidelines for World Athletics Series Events（Adami et al., 2020）においても同様に指針が定められており，スポーツ実施の基準として広く用いられている。東京2020オリンピックにおけるWBGTは，男子マラソンで他の4種目よりも有意に低く注意の範囲となり，女子マラソンでは男女20kmW，50kmWよりも有意に低い値であったが，女子マラソン及び男女20kmWは警戒，50kmWは嚴重警戒の範囲となっていた。また，早朝に実施された女子マラソン及び男子50kmWはスタート時よりもトップ選手ゴール時においてWBGTが上昇し，夕方に行われた男女20kmWではスタート時よりもトップ選手ゴール時で低く，時間の経過に伴い変化が見られた。一方で，男子マラソンにおいてはスタート時とトップ選手ゴール時の差はほぼ見られず，他の競技時は天候が晴れであったのに対して曇りであったことが影響しているものと考えられる。

これまでに気象環境がマラソンのパフォーマンスに及ぼす影響は多くの研究において検討されてきている（Helou et al., 2012, Vihma, 2010）。Helou et al.（2012）はマラソン大会（合計60レース）のパフォーマンスと気象環境（気温，湿度，露点温度，大気圧）の関係性を検討し，気温が上昇するにつれてパフォーマンスが低下することを報告している。また，Mantzios et al.（2022）は，WBGTが7.5～15℃の範囲においてマラソン，50kmW，20kmW，10000m走及び5000m走のパフォーマンスは最も高くなり，それよりも上昇するとパフォーマンスが低下すること，気象環境がパフォーマンスに及ぼす影響を推定する際には気温よりもWBGTのほうが高い推定能力を示したことを報告しており，WBGTは気温よりもパフォーマンスへの影響を評価しやすい項目であると言える。WBGTからマラソン，競歩のパフォーマンス低下率を推定する式が考案されており（Mantzios et al., 2022），東京オリンピックにおける各種目のWBGT（平均値±1SD）を用いた推定低下率は，男子マラソンで-4.31～-4.44%，女子マラソンで-4.59～-5.27%，男

子 20kmW で $-5.27 \sim -6.00\%$ 、女子 20kmW で $-5.38 \sim -5.83\%$ 、男子 50kmW で $-4.24 \sim -5.76\%$ と算出された。東京オリンピックのマラソンにおける低下率は男子全体で $-7.4 \pm 3.5\%$ 、女子全体で $-7.6 \pm 4.7\%$ 、上位 24 位では男子で $-4.0 \pm 1.3\%$ 、女子で $-4.7 \pm 1.9\%$ となり、全体の低下率は男女ともに推定値よりも大きく低下したが、上位 24 位においては男子は推定値よりも良く、女子も推定範囲内であった。また、パフォーマンス低下率に種目間で差は見られなかったものの、最も大きく低下した選手は男子全体で -18.14% 、上位 24 位で -7.20% であったのに対し、女子全体で -22.89% 、上位 24 位で -10.09% となり、個別のパフォーマンスは女子のほうが大きく低下していた。競技中の WBGT は女子において男子よりも有意に高くなっていたことから、女子のほうが厳しい環境下で競技を行っており、暑熱環境の影響を強く受けた選手がいたものと考えられる。また、20kmW における低下率は男子全体で $-8.0 \pm 4.7\%$ 、上位 24 位で $-4.5 \pm 1.6\%$ 、女子全体で $-7.8 \pm 4.7\%$ 、上位 24 位で $-4.4 \pm 2.1\%$ となり、男子 50kmW においても全体で $-7.5 \pm 5.2\%$ 、上位 24 位で $-4.1 \pm 2.7\%$ であった。マラソンと同様に全体では推定値よりも低下したものの、上位 24 位では推定値よりも良い値となっていた。全体での低下率が大きくなった要因としては、主に下位選手において 10% を超えるような大幅なパフォーマンスの低下が生じていたことが考えられる。先行研究では気象環境がパフォーマンスに及ぼす影響は競技レベルの高い者よりも低い者において大きくなることが報告されている (Ely et al., 2007, Mantzios et al., 2022)。本研究における対象選手は標準記録を突破している選手がほとんどであり、競技レベルとしての差はそれほど大きくないが、下位選手においては暑熱環境の影響を大きく受けていた可能性が考えられる。さらに、下位の選手においては熱中症を発症していた選手も見受けられることから、そのような影響がうかがい知れる。

本研究における下位選手には上記のように熱中症を発症するなどパフォーマンスを大きく低下していた選手が見受けられることから、上位 24 位以内に絞ってパフォーマンス低下率と他項目の関係性を考察することとした。上位 24 位の順位とベスト記録の関係性を見ると、男女マラソン、男女 20kmW では順位の良い選手ほどベスト記録が良い関係が認められたものの、男子 50kmW では認められなかった。また、順位と低下率との間には男子 50kmW において順位が良いほど低下率が低くなる関係が認められたが、女子マラソンでは逆の関係が認められ、その他の種目では有意な相関関係は認められなかった。男子 50kmW は他の種目と比べ運動時間が 1 時間以上長いことから暑熱環境の影響を受けやすく、ベスト記録よりもパフォーマンスの低下が順位に影響したと考えられる。また、ベスト記録と低下率の間には全種目でベスト

記録が良いほど低下率が大きくなる関係性が認められた。この結果は順位と低下率の関係性と矛盾するとともに、競技レベルの高い者よりも低い者において気象環境の影響が大きくなるという先行研究 (Ely et al., 2007, Mantzios et al., 2022) と異なるものであった。このような結果となった要因としてはオリンピックという大会が関係していた可能性が考えられる。オリンピックや世界選手権などの世界大会では記録よりも順位が重視されており、記録を狙ったハイペースのレースよりも、駆け引きが行われるレースとなることからペースは抑えめとなりやすく、ベスト記録の良い選手にとっては抑えたペース、記録となり、パフォーマンス低下率が大きくなっていたものと考えられる。

本研究の限界点として、給水やクーリングの実施状況、暑熱順化獲得の有無などの調査を行うことができていない点が挙げられる。暑熱環境下における運動パフォーマンスの低下を抑制する対策としては、脱水を防ぐための給水戦略 (Sawka and Noakes, 2007) や運動前に体温を低下させるプレクーリング (Ross et al., 2013, Gonzalez-Alonso et al., 1999)、暑熱順化の獲得 (Daanen et al., 2018, Nielsen et al., 1993) などが挙げられ、これらの状況も考慮することでより暑熱環境が各選手に及ぼした影響の評価につながるものと考えられる。

5. 結論

本研究結果より、東京 2020 オリンピックでは WBGT が最も低かった男子マラソンの 24.79°C (注意) から最も高かった男子 50kmW の 28.21°C (厳重警戒) の範囲である暑熱環境下でマラソン、競歩競技が実施され、全選手では $-7.4 \sim -8.0\%$ 程度のパフォーマンス低下が引き起こされるものの、上位 24 位以内に絞れば $-4.0 \sim -4.7\%$ 程度の低下であったことが示された。また、上位 24 位における順位と低下率の関係においては男子 50kmW のみパフォーマンス低下率が低いほど順位が良くなる関係性が認められ、競技時間が長い競技においては低下率を抑えることが重要であることが示された。これらの結果より、注意から厳重警戒の暑熱環境下であっても上位選手のパフォーマンス低下率は $-4 \sim -5\%$ 程度となること、運動時間の長い 50kmW ではパフォーマンス低下の抑制が重要であることが示され、2024 年のパリオリンピックや 2025 年の東京世界選手権においても暑熱環境となることが想定されることから、暑熱対策などが引き続き重要になると考えられる。

文献

- Adami, P. E., Bermon, S., Garrandes, F., and Guadagnini, G. (2020) Competition medical guidelines for World Athletics series events. World Athletics.
- Armstrong, L., Epstein, Y., Haymes, E. M., and Roberts, W.

- O. (1997) American college of sports medicine position stand. Heat and cold illnesses during distance running. *Med Sci Sports Exerc*, 28(12): i-x.
- Daanen, H. A. M., Racinais, S., and Périard, J. D. (2018) Heat acclimation decay and reinduction: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 48(2): 409–430.
- Ely, M. R., Cheuvront, S. N., Roberts, W. O., and Montain, S. J. (2007) Impact of weather on marathon-running performance. *Med Sci Sports Exerc*, 39(3): 487–493.
- Gonzalez-Alonso, J., Teller, C., Andersen, S. L., Jensen, F. B., Hyldig, T., and Nielsen, B. (1999) Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol*, 86(3): 1032–1039.
- Guy, J. H., Deakin, G. B., Edwards, A. M., Miller, C. M., and Pyne, D. B. (2015) Adaptation to hot environmental conditions: An exploration of the performance basis, procedures and future directions to optimise opportunities for elite athletes. *Sports Med*, 45(3): 303–311.
- Hasegawa, H., and Cheung, S. S. (2013) Hyperthermia effects on brain function and exercise capacity. *J Phys Fitness Sports Med*, 2(4): 429–438.
- Helou, N. El, Tafflet, M., Berthelot, G., Tolaini, J., Marc, A., Guillaume, M., and Hausswirth, C. (2012) Impact of environmental parameters on marathon running performance. *Pros One*, 7(5): e37407.
- 川原 貴ほか (2019) スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック (第5版). 公益財団法人日本スポーツ協会: 東京, pp.15.
- Mantzios, K., Ioannou, L. G., Panagiotaki, Z., Ziaka, S., Périard, J. D., Racinais, S., Nybo, L., and Flouris, A. D. (2022) Effects of weather parameters on endurance running performance: Discipline-specific analysis of 1258 races. *Med Sci Sports Exerc*, 54(1): 153–161.
- Nielsen, B., Hales, J. R. S., Strange, S., Christensen, N. J., Warberg, J., and Saltin, B. (1993) Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *J Physiol*, 460: 467–485.
- Parkin, J. M., Carey M. F., Zhao, S., and Febbraio, M. A. (1999) Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *J Appl Physiol*, 86(3): 902–908.
- Ross, M., Abbiss, C., Laursen, P., Martin, D., and Burke, L. (2013) Precooling methods and their effects on athletic performance: A systematic review and practical applications. *Sports Med*, 43(3): 207–225.
- Sawka, M. N., and Noakes, T. D. (2007) Does dehydration impair exercise performance? *Sci Sports Exerc*, 39(8): 1209–1217.
- Vihma, T. (2010) Effects of weather on the performance of marathon runners. *Int J Biometeorol*, 54(3): 297–306.
- Yaglou, C.P., and Minard, D. (1956) Prevention of heat casualties at Marine Corps training centers. Technical Report: AD0099920, Boston MA, Harvard School of Public Health.

保存療法が奏効した肘内側側副靱帯損傷やり投げ競技者の3例

武井隼児¹⁾, 小川 健²⁾, 芋生祥之¹⁾, 万本健生³⁾, 平野 篤³⁾

Ulnar collateral ligament injury of the elbow in javelin throwers:
A report of conservative treatment in three cases

Shunji TAKEI¹⁾, Takeshi OGAWA²⁾, Yoshiyuki IMOO¹⁾, Takeo MAMMOTO³⁾, Atsushi HIRANO³⁾

要 旨

やり投げにおける肘内側側副靱帯（UCL）損傷の報告は多く認められるものの、保存療法の経過に関する報告は少ない。今回、やり投げ競技者に生じた UCL 損傷の3例を経験し、いずれも保存療法により競技復帰を果たしたので報告する。

1 例目は発症から一年間再燃を繰り返した後に受診し、7 週間の保存療法で復帰した。2 例目は発症から半年間再燃を繰り返した後に受診し、6 週間の保存療法で復帰した。3 例目は発症から 6 週間再燃を繰り返した後に受診し、8 ヶ月の保存療法で復帰した。先の 2 例は受診時の疼痛が顕著であったが、MRI 所見上は UCL 実質部の損傷は僅かであった。当院リハビリテーションプロトコルに則り、一般的な保存療法例よりも早期に復帰した。3 例目は MRI 所見上で UCL 実質部に明らかな損傷を認め、尺骨神経症状を合併した。テーピングや投擲復帰プログラムを採用し、一般的な保存療法例よりも長期を要したが、手術療法例よりも早期に復帰した。

保存療法において、損傷程度と症状に合わせた段階的なリハビリテーションプロトコルや、やり投げの競技特性と痛みの科学的特性を考慮したリハビリテーション、投擲復帰プログラムが有効であった。

キーワード：やり投げ、肘内側側副靱帯損傷、保存療法

1. はじめに

スポーツにおける肘内側側副靱帯（ulnar collateral ligament：UCL）損傷は、反復的な投げ動作中に生じる靱帯のひずみが繰り返される微細損傷に起因する。発症を認める競技種目は野球のピッチャーだけでなく、ソフトボール、バレーボール、テニスなど多岐に渡る（Dugas et al., 2014; Li et al., 2019）。陸上競技における UCL 損傷はやり投げに関して多くの報告がなされている（丸山ほか, 2011; Dines et al., 2012; Hadley et al., 2022）。しかし、やり投げの UCL 保存療法の経過に関する報告は野球と比較して非常に少ない。

UCL 損傷に対する治療は、リハビリテーションによる保存療法が第一選択とされる。特に、炎症所見のみの場合や部分断裂の場合にはまず最初に保存療法が行われ、3 ヶ月の保存療法に抵抗した例や完全断裂例に対しては手術療法が検討される（Ford et al., 2016; Biz et al., 2019）。治療方針の決定には、競技動作における肘関節への負荷の大きさや今後の競技参加レベル、シーズンの時期、キャリアのタイミングなど、損傷の程度だけでなく患者固有の目標も考慮される必要がある（Swindell et al., 2021）。保存療法での競技復帰率は 42% から 100% と報告されている（Ford et al., 2016; Retting et al., 2001）。競技復帰率の幅が広い理由として、UCL 損傷の程度や損傷部位に関して詳細な記載や統一された評価基準がないことが考えられる。手術療法での競技復帰率は 85.7%（標準偏差 8.5%）と比較的良好かつ諸家の間でばらつき

-
- 1) 筑波大学附属病院水戸地域医療教育センター 茨城県厚生連総合病院水戸協同病院 リハビリテーション部 Department of Rehabilitation, Tsukuba University Hospital Mito Clinical Education and Training Center, Mito Kyodo General Hospital 〒310-0015 茨城県水戸市宮町 3-2-7
 - 2) 独立行政法人国立病院機構水戸医療センター 整形外科 Department of Orthopedic Surgery, National Hospital Organization Mito Medical Center 〒310-0015 茨城県水戸市宮町 3-2-7
 - 3) 筑波大学附属病院水戸地域医療教育センター 茨城県厚生連総合病院水戸協同病院 整形外科 Department of Orthopedic Surgery, Tsukuba University Hospital Mito Clinical Education and Training Center, Mito Kyodo General Hospital 〒310-0015 茨城県水戸市宮町 3-2-7

が少なく、投球復帰プログラムは術後平均 16.7 週（12 週から 18 週）で開始され、術前と同等以上のレベルでの試合復帰までの期間は術後平均 12.2 ヶ月（標準偏差 0.6 ヶ月）と報告されている（Anderson et al., 2022）。また、機能的な結果に関しては保存療法と手術療法の間で差がないことが報告されている（Biz et al., 2019）。

UCL 損傷の重症度が比較的低い場合は、保存療法が奏功することが多い（Ford et al., 2016）。しかし、そのプロトコルや競技復帰までの期間などについては一致した見解が得られていない。特に、やり投げにおける UCL 保存療法の経過に関する報告は非常に少ない。また、やり投げの投擲復帰プログラムは野球よりも慎重に行うべきであり、競技復帰までの期間も野球より長くとるべきであるという記述的記載はあるものの（Redler et al., 2016）、具体的な投擲復帰プログラムの開始時期や内容について述べた報告は渉猟した限り認められない。今回、投擲復帰プログラムを含めた包括的なリハビリテーションプロトコルを用いて、競技復帰を果たした UCL 保存療法のやり投げ競技者 3 例を経験したので報告する。

2. 対象および方法

2.1 共通プロトコル

UCL 損傷の診断は整形外科専門医が行い、診断基準は運動時の肘内側痛、UCL 実質または付着部の圧痛、moving valgus stress test 陽性の 3 項目を満たすものとした。また、重症度の評価は MRI による Ford et al. (2016) の重症度分類（Ⅰ：完全な靱帯で浮腫があるまたはない、Ⅱ A：部分断裂、Ⅱ B：慢性治癒外傷、Ⅲ：完全断裂）を用いた。治療に用いた当院の保存療法プロトコルが表 1 である。本プロトコルは性差、年齢、競技レベルなど

の個別性を考慮せずに多くの症例で使用できるよう、最低限担保されたい内容を記載した。保護期では、疼痛の軽減、関節可動域（range of motion：ROM）の正常化、筋萎縮の抑制を目的としたリハビリテーションを中心に実施した。特に、疼痛の軽減に関しては、運動シミュレーションと運動知覚の一致（McCabe et al., 2005）を目指した運動療法（図 2-a）を積極的に行い、疼痛の機序や抑制方法について説明し、理解を得た。訓練期では、肘関節機能障害に対する標準的なリハビリテーションに加え、競技動作に基づいた運動制御や負荷を考慮した統合的・競技特異的動作を含む運動療法を実施した（図 2-b, c）。復帰期では、ストレステスト陰性を確認し、専門的技術に関する研究（Tidow, 1996）やバイオメカニクスの研究（村上・伊藤, 2003）、コーチングの現場指導を参考に、やり投げの競技動作（図 3）に基づいた競技特異的動作を含む運動療法を実施した。患部外における競技特異的動作は患部の状態に応じて可及的早期から実施した。プロトコルの次の段階へ移行する必要条件は、各期におけるトレーニングを痛みなく確実にこなせることとした。更に競技復帰を許容できるかを判断するため、競技復帰前にパフォーマンステストとして seated shot put test, upper quarter Y balance test, one arm hop test の左右差が 10% 以内であることを確認した（図 1）。

2.2 症例

症例 1

17 歳、女性（高校 3 年）、自己ベスト記録 34m 台。

現病歴：1 年前から投擲練習に伴う右肘内側痛を繰り返し、月に一度の合宿の度に徐々に疼痛が悪化し、冬の合宿で疼痛が増強した。2 ヶ月前から投擲練習を中止していたが改善せず、書字でも疼痛があったため当院紹介

表 1 当院における保存療法プロトコル

	目標	疼痛	判断基準	介入
第1段階：保護期	疼痛・炎症症状の減少			運動と感覚の統合
	ROM正常化	日常生活+		物理療法
	筋萎縮の抑制	ROM中間域+ 最終域+		装具療法（必要に応じて）
	運動制御・運動学習の再構築	ストレステスト+		アライメント調整
	患部外の機能維持・改善			分離動作 患部外トレーニング エネルギー代謝系トレーニング
第2段階：訓練前期	運動制御・運動学習の再構築	日常生活-	第1段階のトレーニングが痛みなく、確実に行える	肘内側支持機構の強化
	患部外の機能維持・改善	ROM中間域- 最終域+	ROM正常化	基礎的動作・統合的動作
	疼痛・炎症症状の消失	ストレステスト+	アライメント改善	上記継続・負荷アップ
第3段階：訓練後期	運動制御・運動学習の強化	ROM中間域- 最終域-	第2段階のトレーニングが痛みなく、確実に行える	高強度遠心性運動
	スキルトレーニング開始	ストレステスト+	ROM最終域の疼痛消失	プライオメトリクス
	患部外の機能維持・改善			統合的動作・競技特異的動作 上記継続・負荷アップ
第4段階：復帰期	スキルトレーニング負荷アップ		第3段階のトレーニングが痛みなく、確実に行える	競技特異的動作・競技動作
	投擲復帰プログラム開始	ストレステスト-	ストレステストの陰性化	テーピング（必要に応じて）
	競技復帰			上記継続・負荷アップ

組織の治癒過程を考慮し、患部の状態に配慮した治療的介入および運動療法を実施する。復帰期にパフォーマンステストとして seated shot put test, upper quarter Y balance test, one arm hop test を実施し、左右差 10% 以内を復帰基準の目安の一つとしている。

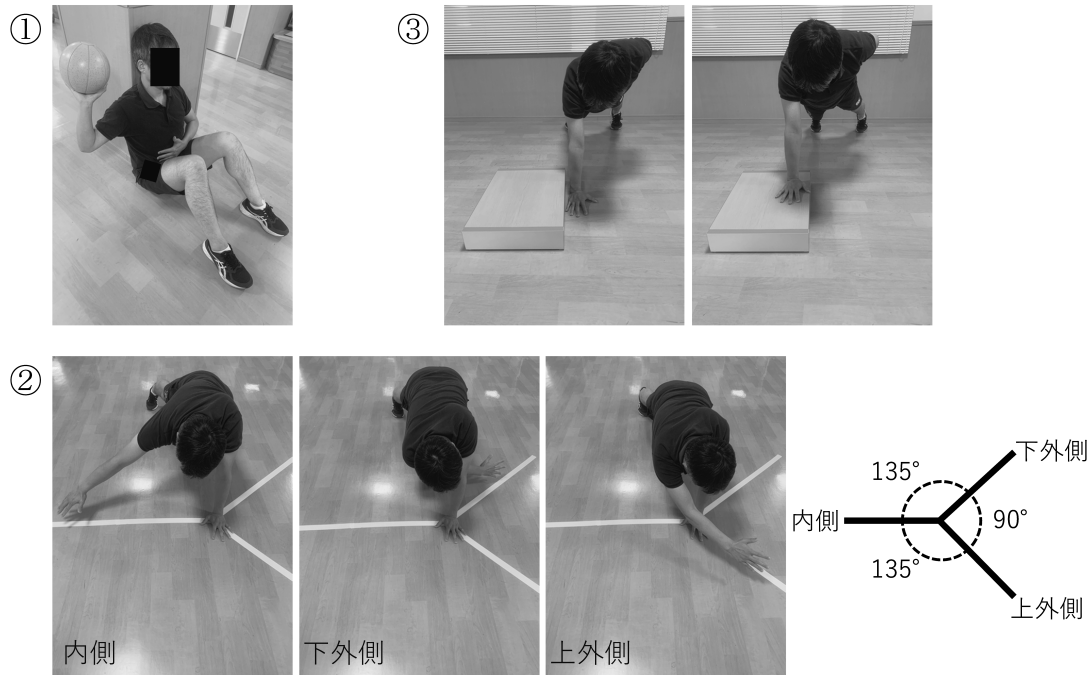


図1 パフォーマンステスト

- ①: seated shot put test. 背中を壁につけ、膝を直角に曲げ、足底全面接地の座位姿勢で行う。テスト側の上肢の動きが制限されないよう、壁の端や柱などを利用する。3kgのメディシンボールを肩の高さから押し出し、できるだけ遠くへとばす。壁からボールの落下地点までの距離を結果とする。ボールの押し出し動作が投げ動作になってしまったり、頭、背中、非テスト側の肩甲骨が壁から離れたり、非テスト側の手が腹部から離れないように注意する。
- ②: upper quarter Y balance test. 肩幅の腕立て伏せ肢位から片側上肢のみで支持し、対側上肢で内側、下外側、上外側のできるだけ遠くへリーチ動作を行い、開始肢位まで戻る。テスト側は支持側の上肢である。支持側の手掌中心から、対側上肢のリーチ到達点までの距離を結果とする。足の位置がずれたり、膝が床につかないように注意する。
- ③: one arm hop test. 肩幅の腕立て伏せ肢位から片側上肢のみで支持し、対側の手は腰部に置いた姿勢で行う。テスト側である支持側の上肢の外側に10cmの台を置く。支持側の上肢で台上に手全体が乗るようにホップし、開始肢位に戻るように床面へホップする。この動作をできるだけ早く5回繰り返し、その時間を結果とする。腰背部が水平でなくなったり、足の位置がずれたり、膝が床面につかないように注意する。床面、台および台上が滑らず、安全にテストが実施可能な状態であることを確認してから行う。

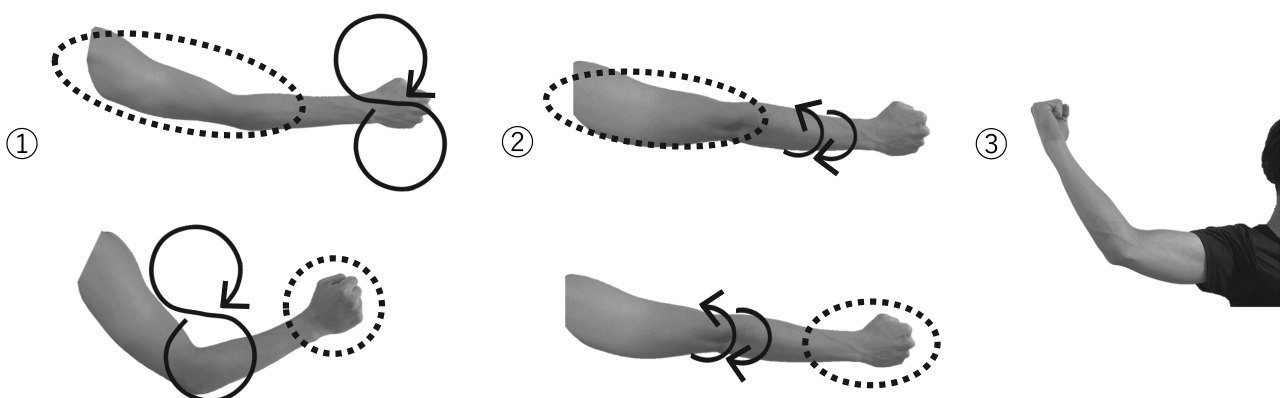


図2-a 介入内容の例（保護期）

点線部分は空間内で姿勢を保持し、実線部分のみを動かす。

- ①: (上) 点線内の肩関節、肘関節位置を空間内で姿勢保持し、手関節を以て遠で八の字を描く運動。(下) 点線内の手関節を以て遠を空間内で姿勢保持し、肘で八の字を描く運動。目視下で行えるようになった後に閉眼で行う。
- ②: (上) 前腕の回内・回外運動。(下) 点線内の手関節を以て遠を空間内で姿勢保持した状態で、近位橈尺関節主体の回内・回外運動。目視下で行えるようになった後に閉眼で行う。
- ③: やり投げの構え姿勢で①、②と同様の運動を行う。目視や鏡による視覚的フィードバックを用いて行えるようになった後に、腕を見ずに視覚的フィードバックなしで行う。

目的は運動シミュレーションと運動知覚の一致。遠心性コピーによって予測された感覚と、実際の感覚フィードバックによる知覚の不一致がある場合、痛みや違和感、不安感、力の入り難さといった症状が生じると考えられる。

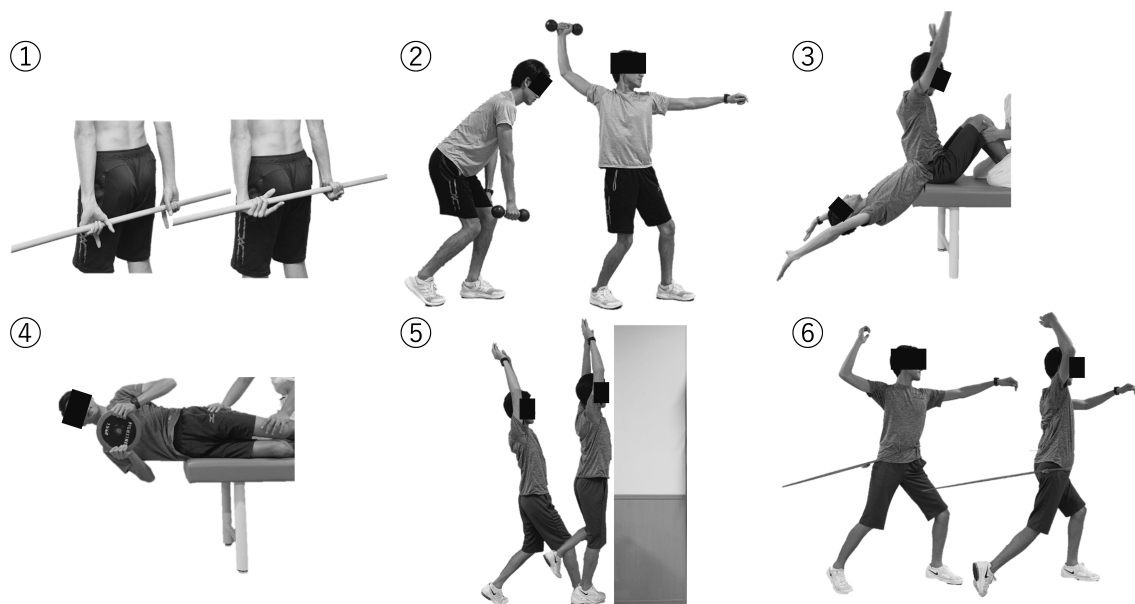


図 2-b 介入内容の例（訓練前期）

- ①：尺側手根屈筋，浅指屈筋の選択的収縮。小指，環指で棒を握り，軽度尺屈位で掌屈運動。
- ②：体幹から上肢の制御。ダンベルを前方から後方に勢いよくスウィングさせ，やり投げの構え姿勢で静止。
- ③：股関節から体幹の制御。脊柱の生理的アライメントをなるべく保持した状態で股関節屈曲運動。
- ④：股関節から体幹の制御。脊柱の生理的アライメントをなるべく保持した状態でプレートに勢いよく正面に突き出し，胸の前に戻す。
- ⑤：全身の制御。上肢挙上位で左足を一步踏み出して接地し，壁に触れないようにして静止。
- ⑥：股関節から体幹の制御。安定した左大腿骨に対して骨盤が近づくような股関節の内転・内旋運動。

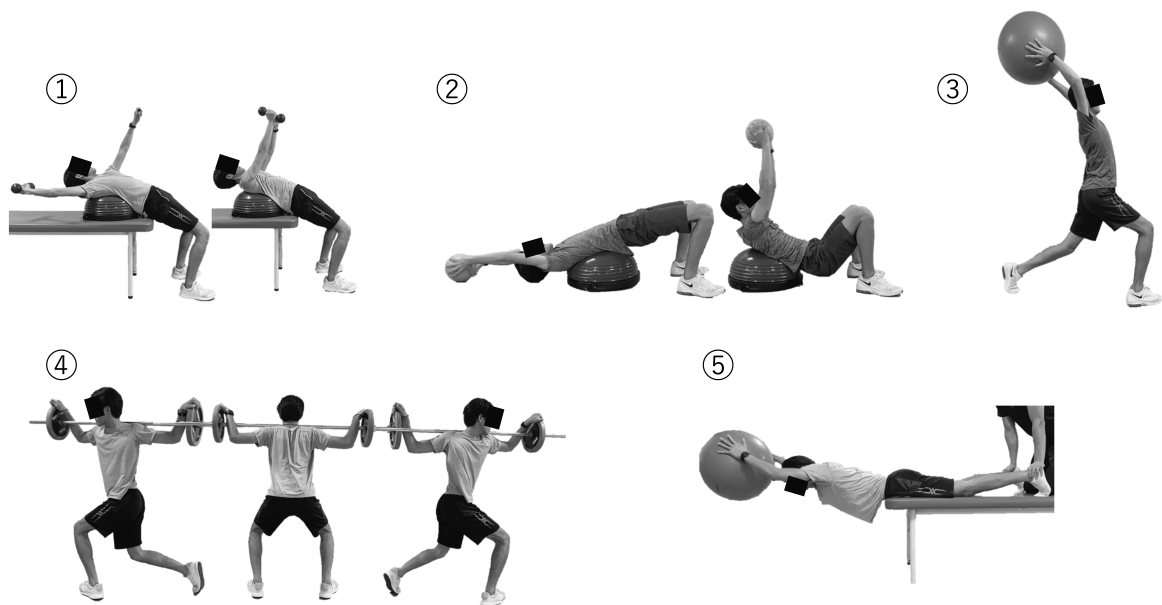


図 2-c 介入内容の例（訓練後期）

- ①：体幹から上肢の制御。胸腰椎移行部を BOSU 上にあて，ダンベルを前方から後方に勢いよくスウィングさせ，やり投げの構え姿勢で静止し，即座に開始姿勢に戻る。
- ②：股関節，体幹，上肢の制御。胸腰椎移行部を BOSU 上にあて，メディシンボールを前方から後方に勢いよくスウィングさせると同時に股関節を伸展させて静止し，即座に開始姿勢に戻る。
- ③：全身の制御。全身を協調的にしならせるようにして，バランスボールを頭上から前方へ勢いよく投げる。
- ④：体幹から下肢の制御。スクワット姿勢からその場で足踏みを行うのと同時に，上部体幹を接地足と同側に回旋させる動作を左右交互に連続で行う。
- ⑤：全身の制御。脊柱の生理的アライメントをなるべく保持した状態で，頭上でのバランスボールのドリブルを勢いよく繰り返す。

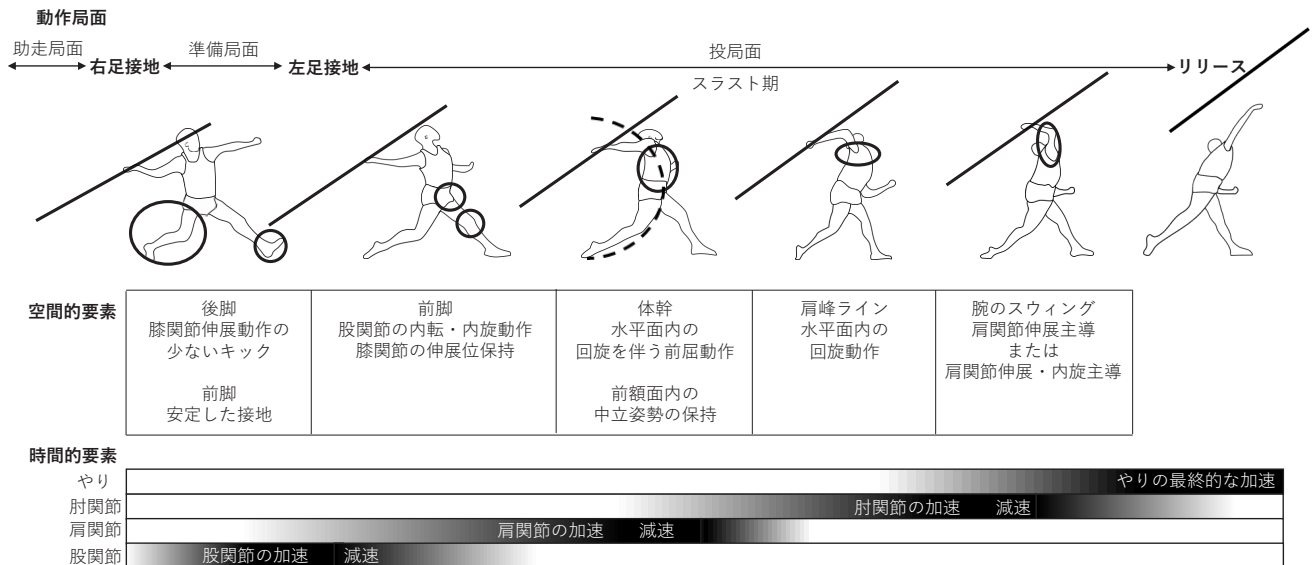


図3 やり投げの投擲局面におけるパフォーマンスに影響を及ぼすポイント

Tidow (1996), 村上・伊藤 (2003) 参考で作成.

受診となった。

初診時所見：右肘関節内側を中心とした広範囲の腫脹と色調変化，安静時および運動時の右肘内側痛，内側上顆の圧痛を認めた。関節可動域は伸展 -5° ，屈曲 110° で疼痛による制限があり，外反ストレステストと moving valgus stress test は陽性であった。MRI にて UCL の全体的な斑状の信号変化（Ford の重症度分類 I）を認めた（図 4-a）。

経過：受診 0 週目からリハビリテーションを開始し，同時にやり投げの競技動作に基づいた運動療法について説明した。2 週目で右肘の関節可動域制限，腫脹，色調変化が消失した。段階的にプロトコルを進め，2 週目に立ち投げから投擲練習を開始し，7 週目に投擲練習の一環として試合に出場して自己ベストを記録，10 週目に目標としていた試合に出場した（表 2）。同時期の MRI において UCL の信号変化は消失していた（図 4-b）。

症例 2

17 歳，女性（高校 3 年）自己ベスト記録 42m 台。

現病歴：6 ヶ月前の秋の試合投擲で右肘内側痛を自覚し，その 2 日後の投擲練習で激しい疼痛が生じた。2 ヶ

月間投擲練習を中止し，再開と同時に激しい疼痛が再燃した。その後は痛みのない範囲で負荷を調整しながら練習をしていたが，投擲練習で再々度激しい疼痛を自覚したため，当院紹介受診となった。

初診時所見：運動時の右肘内側痛，尺骨鉤状結節の圧痛を認めた。関節可動域制限はないものの伸展最終域に疼痛があり，外反ストレステストと moving valgus stress test は陽性であった。MRI にて尺骨鉤状結節の骨髄浮腫を認め，UCL 遠位部の損傷（Ford の重症度分類 I）が示唆された（図 4-c）。

経過：受診 0 週目からリハビリテーションを開始し，初回介入で伸展最終域の疼痛は消失した。同時にやり投げの競技動作に基づいた運動療法を説明した。段階的にプロトコルを進め，2 週目に立ち投げから投擲練習を開始した。4 週目に練習の一環として砲丸投擲に試合出場し，疼痛が悪化した。その後，疼痛が遷延することはなかった。プロトコルの判断基準に基づき，トレーニング時の疼痛やストレステストを再評価した結果，プロトコルの変更は不要であった。6 週目に投擲練習の一環として試合に出場し，9 週目に目標としていた試合に出場した（表 2）。同時期の MRI において UCL と尺骨鉤状結

表 2 症例のまとめ

	年齢	性別	重症度	競技復帰	初診から	自己ベスト	復帰時のパフォーマンス	JOA-JES score	
					試合復帰までの期間		(試合復帰時の記録/初診時自己ベスト×100)	初診時	復帰時
症例1	17	女	I	○	7週	34m	109%	38	100
症例2	17	女	I	○	6週	42m	93%	50	70
症例3	18	女	II A	○	8ヵ月	54m	92%	50	90

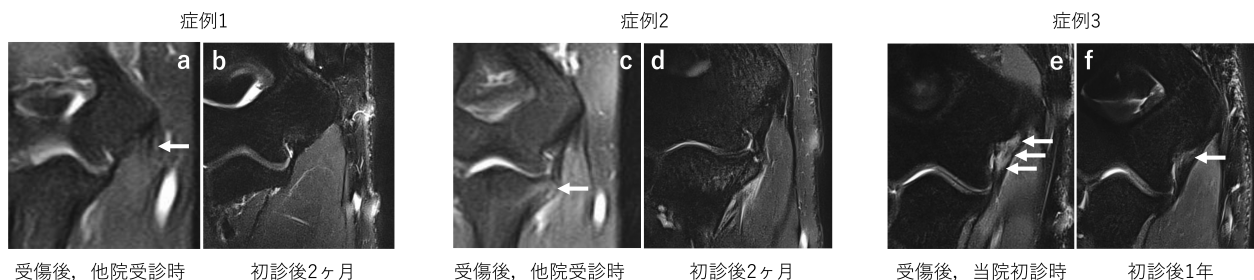


図4 MRI 所見

- a: 症例1 受傷後, 他院受診時. T2 脂肪抑制にて, UCL は全体的に斑状の信号変化を認める.
b: 症例1 初診後2ヶ月. T2 脂肪抑制にて, UCL の信号変化は消失.
c: 症例2 受傷後, 他院受診時. T2 脂肪抑制にて, 尺骨鉤状結節の骨髓浮腫を認める.
d: 症例2 初診後2ヶ月. T2 脂肪抑制にて, UCL の信号変化は消失.
e: 症例3 受傷後, 当院受診時. T2 脂肪抑制にて, UCL は近位 1/2 を中心に膨化し, 高信号を認める.
f: 症例3 初診後1年. T2 脂肪抑制にて, UCL 近位部の信号変化は改善.

節の信号変化は消失していた (図 4-d).

症例 3

18 歳, 女性 (大学 1 年) 自己ベスト記録 54m 台.

現病歴: 6 週間前の夏の試合投擲で右肘関節痛を自覚し, その 2 週後はやりを握るだけでも疼痛を認めたが試合に強行出場し, 症状が悪化した. その後, 疼痛により投擲練習が困難となったため当院紹介受診となった.

初診時所見: 運動時の右肘内側痛, 内側側副靱帯遠位の圧痛を認め, 浅指屈筋の徒手筋力検査で疼痛が誘発された. 関節可動域制限はなく, 外反ストレステストと moving valgus stress test は陽性であった. MRI にて UCL は近位 1/2 を中心に膨化し, T2 脂肪抑制にて高信号を認め, UCL の部分断裂 (Ford の重症度分類 II A) が示唆された (図 4-e). 同シーズンの試合出場を見送り, 翌シーズンの試合出場を目標として設定した.

経過: 受診 0 週目からリハビリテーションを開始し, 段階的にプロトコルを進め, 4 週目に立ち投げから投擲練習を開始した. 徐々にトレーニングの負荷を上げていたが, リリース時に内側上顆から尺側指に放散する疼痛と痺れを自覚し, 復帰が遷延した. 一旦は手術療法に切り替えることも検討された. しかし, 競技復帰までの期間が更に長期化することが予想されたため, 本人および指導者と相談の上, 保存療法を継続した. 尺骨神経症状が示唆されたため, 諸家による末梢神経の解剖学的構造に関する報告を参考に (伊藤ほか, 2009; 木内ほか, 2015), 絞扼や循環不全が生じていると予想される部位に対して徒手療法とテーピングを実施した (図 5). 徐々に症状が軽減したため, 患部への負荷調整とフォームの定着を目的にコーチ, 選手と段階的な投擲復帰プログラムを作成して実施した (表 3). 受診 8 ヶ月後に目標としていた試合に出場した (表 2). 受診から 1 年後の MRI において, UCL の信号変化は改善していた (図 4-f).

3. 考察

3.1 やり投げの競技特性と UCL 損傷

やり投げの競技特性として, 下肢・体幹・上肢の運動連鎖に先んじた助走による運動エネルギーの獲得, 投擲距離を獲得するために有利なより後方での投擲物の構え姿勢, やりの形状により生じるやりの短軸周りのモーメント, 野球ボールよりも重量のある投擲物といった点があることから, 投擲動作時の UCL への負荷が大きいことが推測される. Mero et al. (1994) によると, やり投げのスラスト期 (足が最後に接地してからやりをリリースするまで) におけるオリンピックメダリストの肘関節運動範囲は約 60° (屈曲 84~140°) であり, 投球動作のアクセラレーション期における運動範囲に相当する. ま



図5 尺骨神経症状に対する介入

尺骨神経の分枝が多く存在する位置 (内側上顆遠位 2~10cm) や, 内側上腕筋間中隔の肥厚部分に尺骨神経が最も圧迫される位置 (内側上顆近位 2~10cm) に徒手療法やテーピングを実施. テーピングは Cover-Roll Stretch (Smith and Nephew/BSN 社製) を使用し, 前腕および上腕の内側から外側方向へ軟部組織を誘導するように貼付. 必要に応じて縦サポート, X サポート, スパイラルを追加.

表3 投擲復帰プログラム

投擲方法* ¹	重さ	距離（対自己ベスト）	本数	頻度
突き刺し* ² （山なり）	500g	20m（40%）	15本以内	1回/1-2週
		35m（60%）	10本以内	
	600g	20m（40%）	15本以内	
		35m（60%）	10本以内	
短助走* ³		45m（80%）	10本以内	
全助走		50m以上（90%以上）	10本以内	

投擲を専門とする指導者の経験則を基に作成。

ステップアップの基準は各段階で痛みなく投擲が行えること。

症例3は女性競技者、当時の自己ベスト記録は54m台。競技用のやりの重さは女性600g、男性800g。

*1 各投擲のリリースは、やりを持った腕が頭部よりも後方に位置したまま腕を加速させずに、やりを離すだけの投擲動作から、腕をスウィングさせて振りきる通常の投擲動作の順に実施。

*2 突き刺し時の下肢は、ワイドスタンス、スプリットスタンス、ワンクロスステップの順に実施。

*3 短助走の前段階でハンドボールを用いた様々な投げ方によるキャッチボールを実施。

た、野球の投球動作で見られる肘関節の急速な伸展動作とは対照的に、やり投げの投擲動作では肘関節の急速な屈曲動作が見られ、角速度は約1900°/秒に達する。やり投げの投擲時の肘関節への外反トルクは野球の投球時（Fleisig et al., 1995）と同様に大きいことが予想されるが、動作のメカニクスは大きく異なる。そのため、やり投げの競技特性や特異的な競技動作に対処するためには、UCL損傷の一般的なリハビリテーションプロトコルから変更が必要であると考えられる。今回報告した3症例においては、競技特異的な動作を考慮した運動療法を含むリハビリテーションプロトコルと投擲復帰プログラムを用いたことで、保存療法により競技復帰が出来たと考える。

3.2 やり投げ競技者におけるUCL損傷の重症度による保存療法の適合性

UCL損傷の治療方針は一般的に保存療法が第一選択とされ、3ヵ月の保存療法に抵抗した例に対しては手術療法が選択肢とされる。保存療法による競技復帰までの期間について、Retting et al. (2001) は31例（野球29例、やり投げ2例）を調査し、平均24.5週と報告している。宇野ほか（2017）は野球競技者68例を調査し、3ヶ月以内の完全競技復帰は23例（34%）、不完全競技復帰は21例（31%）と報告している。

症例1および症例2において、いずれも3ヵ月未満での早期復帰を果たした。この理由として、症例1および症例2のいずれにおいてもUCL損傷の重症度が比較的低かったため、UCLの器質的強度がリハビリテーションの負荷を十分許容できていたと推察される。症例1および症例2と同等のUCL損傷重症度の野球競技者に関する調査でも、保存療法による競技復帰までの期間は不明であるが、競技復帰率は100%と報告されている（Ford et al., 2016）。そのため、自験例のような過去に複数回

の損傷があり、症状が慢性化したやり投げ競技者の場合でも、UCLの器質的な問題が少なければ第一選択として保存療法を実践することを推奨したいと考える。

症例3において、競技復帰までの期間は8ヶ月であり先行研究よりも長期を要した。症例3のUCL損傷はFord et al. (2016) の重症度分類ⅡAに相当し、完全断裂には至らない部分損傷であった（図4-e）。同重症度への治療に際して、Ford et al. (2016) の調査では野球競技者における保存療法および手術療法の競技復帰率は、それぞれ83%、100%と報告している。すなわち、いずれの治療方法においても競技復帰率が比較的高いため、部分断裂例ではどちらの治療法を選択するか判断に悩む可能性が高いと考えられる。また、やり投げ競技者に対象者を限定したUCL手術療法に関して、Dines et al. (2012) はやり投げ競技者10例を調査し、競技復帰までの期間は術後平均15ヵ月、競技復帰率は100%と報告し、Hadley et al. (2022) はやり投げ競技者16例を調査し、競技復帰までの期間は術後平均12ヵ月、競技復帰率は62.5%と報告している。すなわち、やり投げ競技者のUCL手術療法は競技復帰まで長期を要し、競技復帰率には統一した見解が得られていないと考えられる。Swindell et al. (2021) は治療方針の決定には損傷重症度だけではなく、今後の参加レベルやシーズンの時期、キャリアのタイミングなども考慮される必要性を指摘している。症例3は大学1年生であり、大学生活における競技期間にはまだ猶予があった。つまり、保存療法を第一選択とした理由として、保存療法が有効でなかった場合においても手術療法に切り替えられる期間が残されており、競技者本人の意思と、支援する現場関係者や医療機関との間で十分に検討した背景が存在する。したがって、症例3のようなUCL部分損傷のやり投げ競技者の場合、保存療法による限界を想定した治療計画と、競技者本人や現場指導者を含めた関係者の治療方針への同意

が重要であると考える。

3.3 やり投げ競技者における UCL 保存療法の具体的アプローチ

(1) 疼痛への対処

慢性的な疼痛が生じている競技者のリハビリテーションやコンディショニングにおいては、疼痛発生機序を考慮したプログラム構成が必要であると考える。症例 1 および症例 2 においては UCL 損傷重症度が低く、器質的問題が少ない一方で慢性痛を認め、競技継続を著しく阻害していた。疼痛の慢性化には身体性の低下が引き金となることが示されている (Hirakawa et al., 2014)。身体性は身体所有感 (sense of ownership) と運動主体感 (sense of agency) に区別され (Gallagher, 2000)、前者は「この身体は私の身体である」という所有の意識、後者は「この運動は私が起こしたものである」という主体の意識のことを指す。種々の異常知覚は視覚・体性感覚といったフィードバック情報間の不一致や (Foell et al., 2013)、運動意図と感覚フィードバックの間の不一致で出現すると報告されており (Katayama et al., 2016)、知覚-運動ループの間に破綻 (食い違い; sensory discrepancy) が生じていることが示唆されている (Blakemore et al., 1999)。慢性的な疼痛を認める患者では、疼痛がこうした異常知覚に修飾されることで質的にも量的にも悪化する場合がある。これらの身体所有感や運動主体感を考慮した運動療法を症例 1 および症例 2 のリハビリテーション初期段階に取り入れた結果、早期に症状の減弱や消失を認めた。このことから、症例 1 および症例 2 のように病態に適さない慢性疼痛に対しては、疼痛発生機序を考慮した積極的な介入が重要であると考える。

UCL 損傷重症度が高いやり投げ競技者のリハビリテーションにおいては、尺骨神経障害の発症の可能性を想定することが必要であると考える。症例 3 においては投擲練習開始後に尺骨神経症状が発生し、経過が順調ではない時期が存在した。保存療法から手術療法に切り替えることも検討されたが、競技復帰までの期間が術後約 12 ヶ月と長期となることから (Anderson et al., 2022)、本人および指導者と相談の上、保存療法を継続した。Jones et al. (2014) は、UCL 手術療法を行ったやり投げ競技者の 5 例中 2 例が術後の尺骨神経炎を認め、肘内側へのストレス増大に伴う尺骨神経障害のリスクを指摘している。本症例に限定すれば徒手療法に併用したテーピングによって症状の軽減が可能であった。テーピングの効果機序は皮膚伸長による C 線維の応答を介した疼痛処理への影響 (Lumpkin and Caterina, 2007)、ゲートコントロール理論に基づいた体性感覚入力による疼痛抑制 (DeLeo, 2006)、筋活動調整 (Hsu et al., 2009) があるとされている。しかしながら、テーピングの効果自体に不明な点が多く、自験例のみの報告ではいずれのやり投げ

競技者にも有効であるとは言い切れない。そのため、UCL 部分損傷のやり投げ競技者の保存療法においては、円滑な経過とならない場合の想定や臨機応変な対応が必要になると考える。

(2) 投擲復帰プログラム

リハビリテーションにおいて、症状の遷延や再受傷といった問題は、投球や投擲などの競技動作の再開時期が早すぎたり、実施強度や回数が過剰となることで生じる。症例 3 においては、投擲練習開始後に尺骨神経症状が生じた。その要因として、スラスト期に投擲側の肘関節が肩関節よりも低い位置にある、いわゆる“肘下がり”と称される定性的な不良動作の改善が不十分であったことや、投擲練習再開の時期が早く、負荷が大き過ぎたことも考えられる。また、運動シミュレーションと運動知覚の一致はリハビリテーションにおけるトレーニングでは達成されていたが、実際の投擲動作への転移が不十分であったことや、投擲動作における運動強度や反復回数への順応や耐久性が不十分であったことも考えられる。やり投げの投擲復帰プログラムに関する報告は現状存在しない。Anderson et al. (2022) は、UCL 手術療法後の投球復帰プログラムは術後平均 16.7 週で開始され、競技復帰までの期間は術後平均 12.2 ヶ月と報告している。Redler et al. (2016) は、やり投げ競技者の UCL 手術療法後の投擲復帰プログラムは術後 8 ヶ月で開始し、競技復帰までの期間は術後 15 ヶ月とすることを推奨している。この理由として、やりの重量が野球ボールよりも重いことがあげられており、野球に比べて投擲復帰プログラムの開始推奨時期は 4 ヶ月遅く、競技復帰までの推奨期間は 3 ヶ月長い。競技動作の段階的な実施を管理するために距離、強度、回数、時間などを設定した野球の年代別投球復帰プログラムや (Axe et al., 2009)、ゴルフ、野球、テニスのインターバルプログラムが報告されている (Reinold et al., 2002)。症例 3 においては、尺骨神経症状の改善後、現場指導者と連携し、表 3 の投擲復帰プログラムを用いることで 8 ヶ月で競技復帰を果たした。自験例では競技復帰を果たすことが出来たものの、今後は症例数を増やして検討していく必要があると考える。また、多くの研究が蓄積されることにより、やり投げにおける投擲復帰プログラムが確立されることを期待する。

4. 結 語

保存療法で競技復帰を果たした UCL 損傷のやり投げ競技者 3 例を経験した。損傷程度と症状に合わせた段階的なリハビリテーションプロトコル、やり投げの競技特性と疼痛の科学的特性を考慮したリハビリテーション、投擲復帰プログラムが有効であった。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

謝辞

本研究を進めるにあたり、筑波大学体育系の大山卞圭悟氏と中野美沙氏にスポーツ現場と医療機関との連携や、テーピング手法、投擲復帰プログラムの作成に関して多大な貢献をいただいた。ここに記し、謝意を表します。

文献

- Anderson MJJ., Crockatt WK., Mueller JD. and Ahmad CS. (2022) Return-to-competition criteria after ulnar collateral ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med*, 50(4) : 1157-1165.
- Axe M., Hurd W. and Snyder-Mackler L. (2009) Data-based interval throwing programs for baseball players. *Sports Health*, 1(2) : 145-153.
- Biz C., Crimi A., Belluzzi E. and Ruggieri P. (2019) Conservative versus surgical management of elbow medial ulnar collateral ligament injury: a systematic review. *Orthop Surg*, 11(6) : 974-984.
- Blakemore SJ., Wolpert DM. and Frith CD. (1999) The cerebellum contributes to somatosensory cortical activity during self-produced tactile stimulation. *Neuroimage*, 10(4) : 448-459.
- DeLeo JA. (2006) Basic science of pain. *J Bone Joint Surg Am*, 88(Suppl 2) : 58-62.
- Dines JS., Jones KJ., Kahlenberg C., Rosenbaum A., Osbahr DC. and Altchek DW. (2012) Elbow ulnar collateral ligament reconstruction in javelin throwers at a minimum 2-year follow-up. *Am J Sports Med*, 40(1) : 148-151.
- Dugas J., Chronister J., Cain EL Jr. and Andrews JR. (2014) Ulnar collateral ligament in the overhead athlete: a current review. *Sports Med Arthrosc Rev*, 22(3) : 169-182.
- Fleisig GS., Andrews JR., Dillman CJ. and Escamilla RF. (1995) Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *Am J Sports Med*, 23(2) : 233-239.
- Foell J., Bekrater-Bodmann R., McCabe CS. and Flor H. (2013) Sensorimotor incongruence and body perception: an experimental investigation. *Front Hum Neurosci*, 7 : 310.
- Ford GM., Genuario J., Kinkartz J. and Noonan T. (2016) Return-to-play outcomes in professional baseball players after medial ulnar collateral ligament injuries: comparison of operative versus nonoperative treatment based on magnetic resonance imaging findings. *Am J Sports Med*, 44(3) : 723-728.
- Gallagher I I. (2000) Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends Cogn Sci*, 4(1) : 14-21.
- Hadley CJ., Rao S., Erickson BJ., Cohen SB., Dodson CC., Ciccotti MG. and Romeo AA. (2022) Ulnar collateral ligament reconstruction in javelin throwers: an analysis of return to play rates and patient outcomes. *J Shoulder Elbow Surg*, 31(3) : 488-494.
- Hirakawa Y., Hara M., Fujiwara A., Hanada H. and Morioka S. (2014) The relationship among psychological factors, neglect-like symptoms and postoperative pain after total knee arthroplasty. *Pain Res Manag*, 19(5) : 251-256.
- Hsu YH., Chen WY., Lin HC., Wang WT. and Shih YF. (2009) The effects of taping on scapular kinematics and muscle performance in baseball players with shoulder impingement syndrome. *J Electromyogr Kinesiol*, 19(6) : 1092-1099.
- 伊藤恵康・辻野昭人・古島弘三 (2009) スポーツによる尺骨神経の障害. *臨床スポーツ医学*, 26(5) : 533-540.
- Jones KJ., Dines JS., Rebolledo BJ., Weeks KD., Williams RJ., Dines DM. and Altchek DW. (2014) Operative management of ulnar collateral ligament insufficiency in adolescent athletes. *Am J Sports Med*, 42(1) : 117-121.
- Katayama O., Osumi M., Kodama T. and Morioka S. (2016) Dysesthesia symptoms produced by sensorimotor incongruence in healthy volunteers: an electroencephalogram study. *J Pain Res*, 9 : 1197-1204.
- 木内 均・國吉一樹・助川浩士・上野啓介・小林倫子・安部 玲・赤坂朋代・金塚 彩・鈴木崇根 (2015) 肘部管周囲における尺骨神経分岐の解剖学的検討—皮下前方移所術における筋枝の温存を目的として—. *日本肘関節学会雑誌*, 22(2) : 381-184.
- Li NY., Goodman AD., Lemme NJ. and Owens BD. (2019) Epidemiology of elbow ulnar collateral ligament injuries in throwing versus contact athletes of the national collegiate athletic association: analysis of the 2009-2010 to 2013-2014 Seasons. *Orthop J Sports Med*, 7(4) : 2325967119836428.
- Lumpkin EA. and Caterina MJ. (2007) Mechanisms of sensory transduction in the skin. *Nature*, 445(7130) : 858-865.
- 丸山真博・高原政利・原田幹生・石井政次・村成 幸・佐々木淳也 (2011) 高校生やり投選手の肘障害調査. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 19(3) : 447-452.
- McCabe CS., Haigh RC., Halligan PW. and Blake DR. (2005) Simulating sensory-motor incongruence in healthy volunteers: implications for a cortical model of pain. *Rheumatology (Oxford)*, 44(4) : 509-16.

- Mero A., Komi PV, Korjus T., Navarro E. and Gregor RJ. (1994) Body segment contributions to javelin throwing during final thrust phases. *J Appl Biomech*, 10(2) : 166-177.
- 村上雅俊・伊藤 章 (2003) やり投げのパフォーマンスと動作の関係. *バイオメカニクス研究*, 7(2): 92-100.
- Redler LH., Degen RM., McDonald LS. and Dines JS. (2016) Elbow ulnar collateral ligament injuries in athletes: Can we improve our outcomes? *World J Orthop*, 7(4) : 229-243.
- Reinold MM., Wilk KE., Reed J., Crenshaw K. and Andrews JR. (2002) Interval sport programs: guidelines for baseball, tennis, and golf. *J Orthop Sports Phys Ther*, 32(6) : 293-298.
- Rettig AC., Sherrill C., Snead DS. and Mielsing P. (2001) Nonoperative treatment of ulnar collateral ligament injuries in throwing athletes. *Am J Sports Med*, 29(1) : 15-17.
- Swindell HW., Trofa DP., Alexander FJ., Sonnenfeld JJ., Saltzman BM. and Ahmad CS. (2021) Nonsurgical Management of Ulnar Collateral Ligament Injuries. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev*, 5(4) : e20.00257.
- Tidow G. (1996) Model technique analysis sheets- Part X : The javelin throw. *New Studies in Athletics*, 11(1) : 45-62.
- 宇野智洋・高原政利・原田幹生・丸山真博・高木理彰 (2017) 野球選手の肘内側側副靱帯損傷に対する保存治療成績. *日本肘関節学会雑誌*, 24(2): 254-259.
-

陸上競技における競技エリアの救護活動の展望

廣重陽介（帝京大学スポーツ医科学センター）

加藤 基（帝京大学スポーツ医科学センター）

1. 陸上競技における競技会中の傷害発生と救護医務体制の必要性

陸上競技では、重篤な外傷を含む傷害発生が少ないという印象から、競技会において十分な救護医務体制が整えられていないことが多い。しかしながら、五輪や世界選手権などのハイレベルな競技会では、各競技会で参加者数の8-10%程度の傷害発生率が報告されている（Edouard et al., 2020）。中には、脳震盪や下腿骨の開放骨折、労作性熱中症など重篤な外傷も発生している。このように、一定の傷害発生がみられる陸上競技会において、救護医務体制を整備することは緊喫の課題といえる。ここでは、陸上競技における救護医務活動の特徴と本邦における救護医務活動の歴史を振り返り、その課題について考察し、陸上競技における救護医務活動普及の一助となることを目的とし、論を進めたい。

2. 陸上競技における救護医務活動の特徴

陸上競技会では、いくつかのルールおよび特殊性を有する（加藤, 2022）。1つ目は、競技エリアに入ることができるのは競技者と競技役員のみであること、2つ目は、様々なチームに所属する複数の競技者が参加するこ

と、3つ目は、競技エリア内の別の場所で複数の種目が同時に催されること、4つ目は、競技会場が広いこと、である。これらを理由として、各競技者の所属チーム関係者が救急対応を施すことは現実的ではない。そのため、競技役員としての救護医務対応者を配置することの必要性は高い。

本邦における陸上競技会における救護医務活動の一例として、公益財団法人日本陸上競技連盟（以下、日本陸連）が主催し、日本陸連医事委員会トレーナー部（以下、陸連トレーナー部）が担う救護医務活動について紹介する。日本陸連は、その主催競技会の救護医務体制としてスリーステーション・サポートシステムを提唱している（図1）。スリーステーション・サポートシステムとは、競技会場およびその周辺に、役割の異なる3種のステーションを設置し、3者が連携し安全な競技会の実施、競技者の支援に貢献しようとするものである。3種のステーションとは、1）メディカルステーション（以下、医務室）、2）FOP救急対応ステーション（field of play first aid; FOP FA）（以下、FOP FA）、3）トレーナーステーションである。トレーナーステーションでは競技者のケアやコンディショニングを担当する。本論で主題として

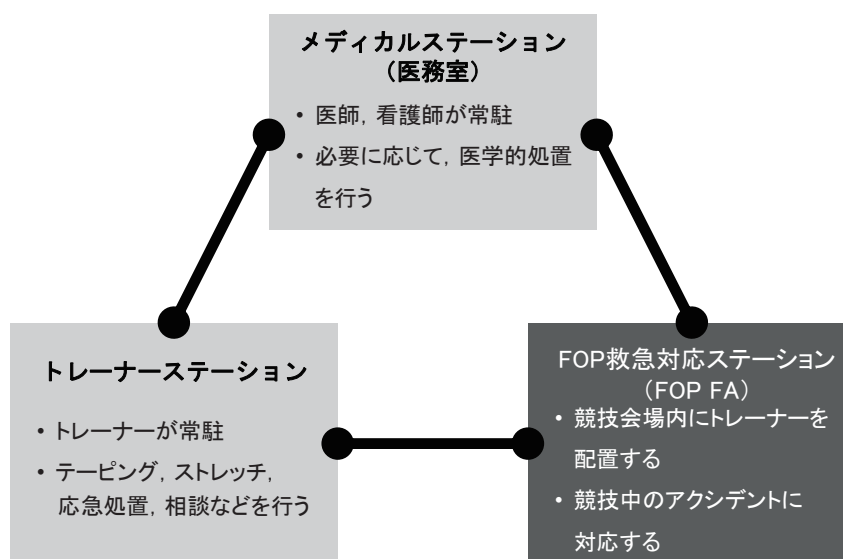


図1 スリーステーション・サポートシステム
FOP FA; field of play first aid

いる救護医務活動は、医務室および FOP FA の連携によって運営される。ここでは、医務室と FOP FA の活動について示す。医務室には、医師・看護師などの医療者が待機し、競技会中の傷病発生に対応する。競技会の規模によっては、医療者が待機しておらず、審判員から医務員が配置されることがある。なお、医務員には、養護教諭などが配置されることが多い印象である。FOP FA は、競技エリア内に複数箇所配置され、医務室や他の FOP FA と連携をしながら、競技エリア内を観察し、観察範囲内で発生する競技中および前後のアクシデントへの初期対応および医務室への搬送等を実施する。日本選手権など国内競技会では、FOP FA を 2～3 か所に配置し、競技エリア内全体の観察を行うのが通例となっており(図 2)、1 班に対して、かなり広範囲での観察、アクシデント発生時の迅速な対応が要求される。

これらの救護医務活動を担う者は、重篤な傷害への応急手当(心肺蘇生法・AED 使用、止血、固定法など)、様々な搬送資器材を用いた搬送に関する十分なスキルを持つことが求められる。ただし、救急救助活動を職務とする救急隊員などであれば適切に実施することができるかという、必ずしもそうとは言い切れない。陸上競技会の

救護医務活動に関わる者は、陸上競技のルールと競技会中に発生しうる傷害の特性(Edouard et al., 2020)を理解したうえで対応できる者である必要がある。

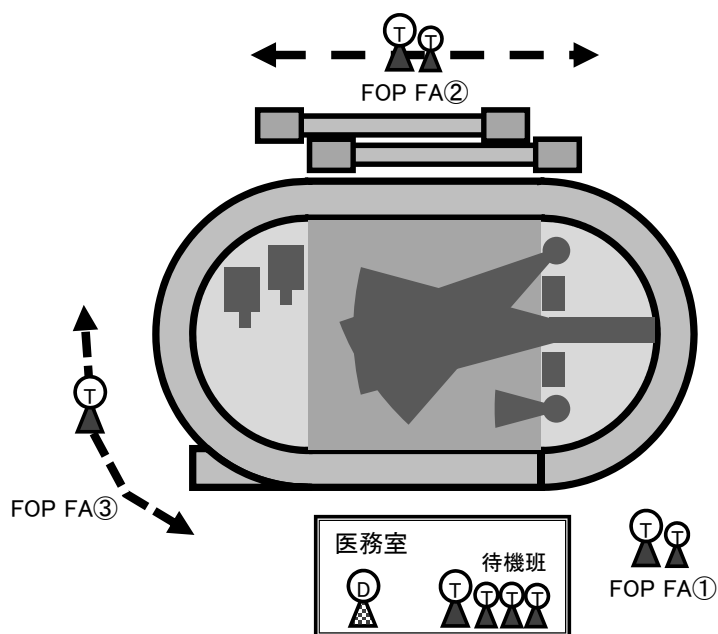
なお、ここまで本論では陸上競技会の救護医務活動を主題として進めてきたが、これ以降は FOP FA による救護活動に限定して論を進める。

3. 本邦における陸上競技会救護活動の歴史

本邦における陸上競技の救護活動には 2 つの大きな転換点がある。1 つは、2007 年に大阪で開催された世界選手権(以下、世界陸上大阪)、もう 1 つは 2021 年に東京で開催された東京 2020 オリンピック(以下、東京五輪)である。

3.1 世界陸上大阪以前

1990 年の陸連トレーナー部の前身発足以来、前述したスリーステーション・サポートシステムを構築し、競技会の救護活動を行ってきた。ただし、その活動には明文化されたマニュアルが存在せず、経験者がその経験・知見をもとに、その場で活動者に活動方針を伝達することが多かった。



	ゴール地点		バックストレート		第4コーナー
9:00	A	B	C	D	E
10:00	F	G	A	H	I
11:00	C	E	G	B	D
12:00	A	I	F	C	H
13:00	G	D	A	E	B
14:00	F	C	I	G	H
15:00	A	E	B	C	D

図 2 国内大会(グランプリ大会)における FOP FA シフト例
2 か所 2 名 + 1 か所 1 名の体制で 9 名にて活動
黒字は男性、白抜きは女性
FOP FA; field of play first aid, 人形の T はトレーナー、D は医師

3.2 世界陸上大阪での活動とそれ以降

世界陸上大阪の2007年日本開催が決定し、ホスト国として組織的な救護医務活動が求められ、スリーステーション・サポートシステムを厳密に実施することとなった。そこで、陸連トレーナー部では、競技会における救護対応者として、知るべきルール、役割、マーシャルなど他の競技役員との連携、救護対応や搬送、連絡手順、記録などを明文化した「救護マニュアル」を作成した。公式に作成された救護マニュアルとしては、これが初めてのものであった。世界陸上大阪では、75名のトレーナーが救護活動等の競技会医務に関わった。FOP FAは、トレーナーのみで構成され、1班4名、スタジアム各コーナー4か所に配置し、救護活動を行った（図3）。

世界陸上大阪終了後、その参加トレーナーを中心とし、国内の陸上競技会では、「救護マニュアル」をベースとした救護活動が実践され、救護活動シミュレーション等の教育資料として「救護マニュアル」が度々活用された。大阪世界選手権時に作成した「救護マニュアル」は、救護活動の目的や意図、実際の取り組みの方向性を共有して、資質向上を図るための有用なレガシーとなった。

3.3 東京五輪での活動とそれ以降

2021年に開催された東京オリンピックでは、国際オリンピック委員会の定めた救護活動体制に関するルールが、世界陸上大阪以来、国内の陸上競技会で使用していた「救護活動マニュアル」と大きく乖離していた。そのため、活動マニュアルを見直す必要性が生じた。具体

的に乖離していた点は、1) トレーナーは理学療法士資格を有するPT（physical therapist）とそれ以外のACA（athlete care assistant）に区別して活動を行うこと、2) 救護班には医師を必ず加え、医療処置は医師とPTが行うことであった。このことにより、陸連トレーナー部の部員であっても、保有資格の都合上、東京五輪に参加できない者が出るようになった。また、競技エリアで医師とトレーナーが共同するチーム編成について役割分担や活動について検討する必要が生まれた（図4）。

東京五輪に向けた救護活動の新しい点としては、ゴール後や競技終了後に体調不良を訴える選手に対応するため、救護観察地点として、競技後のミックスゾーンやポストイベントコントロールエリアを追加し、各時間帯で配置を行うようにしたこと、観客用スタンドからスタジアム全体を俯瞰して観察するFOP スーパーバイザー（FOP SV）を配置したことである。

スタジアム内における救護活動体制は、医師1名＋PT・ACA4名の5名を1班とし、スタジアム各コーナー4か所、ミックスゾーン（ACA3名）、ポストイベントコントロールエリア（PT、ACA3名）の6か所を観察地点とした。加えて、観客用スタンドにFOP SVも配置し、観察体制を強化した（図5）。FOP SVはスタジアム全体の観察、医務室とFOP FA各地点の連携強化を担った。なお、東京オリンピックは、コロナ禍での開催であったため、大会組織委員会が作成した感染症対策マニュアルに従い、手指消毒や資器材のアルコール清拭、サージカルマスク・ディスポーザブルグローブとアイシールドの常時着用にて救護活動を実施した。必要に応じてガウンやキャップの着用ができるよう準備もなされた。事前に共有される濃厚接触者の搬送対応については隔離室が設けられ、異なるエリアへの搬送がなされた（加藤ら、2022）。

4. 今後の陸上競技救護活動の課題と展望

本邦における救護活動は多くの経験を重ねるに従い、少しずつ体系化されてきた。近年では、ワールドアスレティックスも陸上競技会における医療ガイドラインを定めており、FOP FAの設置箇所についてトラック外周に4か所配置するべきとしている。先に述べた通り本邦の

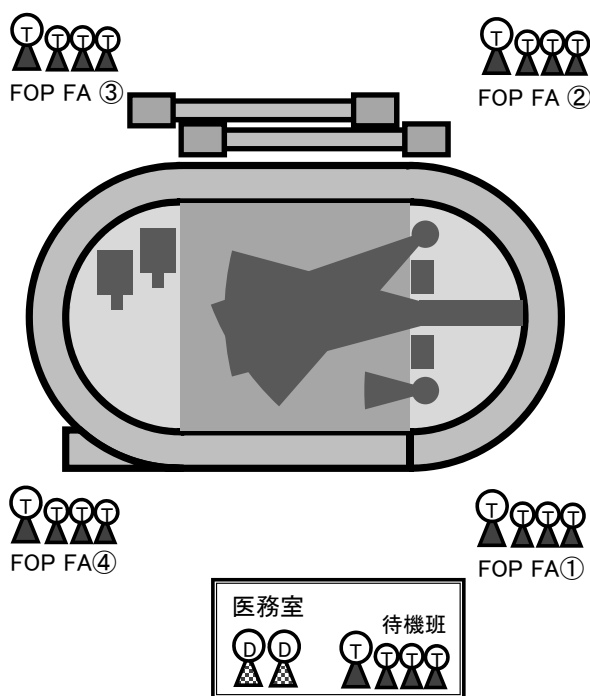


図3 世界選手権大阪大会（2007年）における救護体制
FOP FA; field of play first aid, 人形のDは医師,
Tはトレーナー。

医師	駆けつけ・声掛け、状態確認、対応指示
ACA①	リーダー、連絡、医師補助
PT	処置／医師補助／観察継続
ACA②	物品／搬送
ACA③	観察継続／搬送

図4 東京2020オリンピックによるFOP FAにおけるグループ内の役割分担1チーム5名体制（医師1名、ACA3名）で活動した。
FOP FA; field of play first aid.

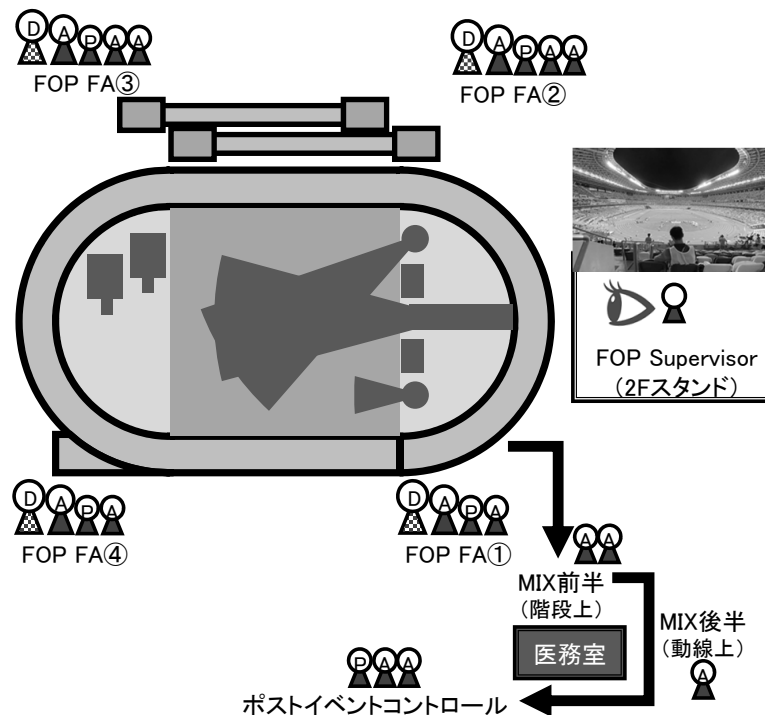


図5 東京2020オリンピックにおける救護体制

FOP FA; field of play first aid, MIX; ミックスゾーン, 人形のDは医師, Aはathlete care assistant, Pは理学療法士.

競技会救護は、トラック外周に2～3か所配置する形が現実的な体制となっている。また、体制が整っていない地方での陸上競技会においてはもっと人員が不足した状態での活動もなされている。このように、本邦では推奨されるガイドラインと比較し、人員が不足した形での救護活動となることが多く、人員を配置すべきところに優先して配置するより効率的な救護体制が求められる。

効率的な救護体制を構築するために必要なことの一つとして、救護活動記録の分析が挙げられる。アクシデント発生地点、搬送の有無や手段など、過去の救護活動の傾向を省みることで、少ない人員で効率的な活動が行える可能性がある。しかしながら、今まで救護活動記録については、統一された形はなく、記録の公表もされていなかった。救護記録の公表については、世界選手権、五輪などの国際大会ではコンセンサスステイトメント (Timpka et al., 2014) に基づいて傷害調査がなされ、発信されている (Edouard et al., 2020)。一方で、本邦における競技会医務活動については、医務室やトレーナーステーションでの活動記録についての集計報告は散見されるが、救護活動についてはほとんどみられない。

この現状の改善を目指し、救護活動記録のフォーマットを作成し、記録、分析を行う取り組みを試みた。救護活動について、1) 競技会情報、2) 活動体制、3) 傷害発生等に関して記録を行う (表1)。これらの記録の一部は「診断」に関わる事項も存在するため、医師の協力が不可欠となる。得られた記録から、1) 陸上競技会で発生する傷害の分析、2) 様々な環境 (気候や選手の世

代など) における効果的な救護活動体制 (人員やスキルなど) の検討、3) 他の調査研究との比較や考察、等が可能となる。地方陸協での競技会における救護活動について、陸連トレーナー部は都道府県レベルの競技会におけるトレーナー活動ガイドラインを示しているが、救護活動については概要にとどめた内容である。したがって、上記の形で得た記録を発信していくことが、救護活動の普及や効果的な活動に関する指針として、安全に陸上競技に取り組む選手や指導者にとって有効な知見となりうる。

本方法において、救護活動記録をまとめた例を表2、3に示す。この表は、2022年10月21～23日に開催された第16回U18/第53回U16陸上競技大会における救護記録集計である。表2は、性別、世代、種目、ラウンドごとの救護発生件数および、救護発生率を示したものである。救護発生率は、出場者1000人当たりの発生数を割合として示している。救護実件数、傷害実件数のみならず、母数を統一する発生率を記録することによって、救護対応が多いか少ないかを他と比較しやすくなる。本競技会では、救護対応、処置、搬送率ともに、跳躍種目出場者が他の種目の出場者より高いことがわかる。また、本競技会は日本陸連の競技者育成指針に従い、世代に応じた特殊種目も数多く設定されており、こちらの傷害データも先行研究では見られないため、貴重なデータであると考えられる。表3は、どの部位にどのような症状、問題が発生したかを集計するとともに、どこで傷害が発生したか、どこに配置されていた救護班が対応したか、対

表1 救護活動記録（例）

1.	競技会情報の記録
(ア)	カテゴリー
(イ)	競技レベル
(ウ)	参加者数など（プログラムなど）
(エ)	実施種目と実施場所（プログラムなど）
(オ)	その他
2.	活動体制の記録
(ア)	人数・構成
(イ)	救護観察地点
(ウ)	医務室体制
(エ)	その他
3.	傷害発生の記録
(ア)	日時情報
①	日付
②	時刻
(イ)	天候情報：気象条件による発生傾向の検討
(ウ)	競技種目情報・発生地点情報
①	種目
②	発生地点
③	競技場内の位置
(エ)	対応情報
①	対応救護地点：救護の配置場所・配置数による活動のスムーズさの検証
②	対応内容（観察・声掛け・対応・搬送（方法） など）
③	問題点（見落とし、対応遅れ、人的トラブル、想定不足、スキル不足など）
④	所感
(オ)	傷害・疾病情報
①	外科or内科
②	部位（※コンセンサスステイトメント（Timpka et al., 2014）に基づきカテゴリー分け）
③	重症度（Time Loss）の推定
④	既往、予兆の有無

応の種類（搬送、処置など）、搬送した場合の搬送手段について示した。これらは、陸上競技会でどのような傷害が発生するかを知るとともに、救護活動を行う際に、FOP FA をどの地点に配置すべきか、人員を重点的に配置すべきはどこか、どのような搬送手段が必要なのかを知ることができ、搬送のために必要なスキルや搬送に必要なとなる人員数などを考察可能となる。このように救護活動の分析はより質の高い救護活動を行っていくうえで重要な示唆となる。加えて、前駆症状（トラブル発生の前提となる問題が競技会前に持っていたか）や Time Loss などを知ることができれば、前駆症状を持ったまま競技会に出場することの危険性や競技会で発生する傷害の重症度を知ることが可能となるため、陸上競技会で発生する傷害の特徴、重症度を明らかにする材料となる

ことが期待される。

5. さいごに

救護活動は、競技会中のアクシデント発生を速やかに発見し、対応することで、発生した問題を最小限にし、二次的な問題を回避するために重要な取り組みである。加えて、救護活動が必要となった事例をまとめた救護活動調査、傷害調査は、当該スポーツ中に発生しうる問題・トラブルを特定し、有効な対策に役立てるため、予防の第1ステップとしてその重要性は古くから知られている（van Mechelen et al., 1992）。救護活動とともに、その活動記録を集計し、公表することは、陸上競技の傷害予防に寄与し、効果的、効率的な救護活動や教育的な資料としても価値の高いものになることを理解する必要がある。

表2 第16回U18/第53回U16陸上競技大会における救護記録襲名（性別、世代、種目、ラウンドごとの傷害発生率）
対応・処置・搬送リスクは1000出場者当たりの割合を示した。

日付	種目数	救護件数	処置件数	搬送件数	出場者合計	対応リスク	処置リスク	搬送リスク
2022年10月21日	29	6	4	1	666	9.0	6.0	1.5
2022年10月22日	32	10	9	6	688	14.5	13.1	8.7
2022年10月23日	25	5	3	2	588	8.5	5.1	3.4
合計	86	21	16	9	1942	10.8	8.2	4.6
性別	種目数	救護件数	処置件数	搬送件数	出場者合計	対応リスク	処置リスク	搬送リスク
男子	43	17	13	8	975	17.4	13.3	8.2
女子	43	4	3	1	967	4.1	3.1	1.0
合計	86	21	16	9	1942	10.8	8.2	4.6
世代	種目数	救護件数	処置件数	搬送件数	出場者合計	対応リスク	処置リスク	搬送リスク
U16	36	12	9	4	943	12.7	9.5	4.2
U18	48	9	7	5	929	9.7	7.5	5.4
小学生	2	0	0	0	70	0.0	0.0	0.0
合計	86	21	16	9	1942	10.8	8.2	4.6
種目	種目数	救護件数	処置件数	搬送件数	出場者合計	対応リスク	処置リスク	搬送リスク
100m	14	2	2	2	274	7.3	7.3	7.3
150m	6	1	1	1	123	8.1	8.1	8.1
300m	6	1	1	0	110	9.1	9.1	0.0
800m	4	1	1	1	61	16.4	16.4	16.4
1000m	4	0	0	0	117	0.0	0.0	0.0
1500m	1	0	0	0	12	0.0	0.0	0.0
3000m	1	0	0	0	8	0.0	0.0	0.0
100mH(0.762m)	6	0	0	0	107	0.0	0.0	0.0
110mH(0.991m)	6	2	1	0	110	18.2	9.1	0.0
300mH(0.762m)	3	0	0	0	55	0.0	0.0	0.0
300mH(0.914m)	3	1	1	1	53	18.9	18.9	18.9
3000mW	2	0	0	0	31	0.0	0.0	0.0
走高跳	4	1	0	0	99	10.1	0.0	0.0
棒高跳	4	5	4	2	108	46.3	37.0	18.5
走幅跳	4	3	2	2	95	31.6	21.1	21.1
三段跳	4	4	3	0	149	26.8	20.1	0.0
砲丸投	4	0	0	0	92	0.0	0.0	0.0
円盤投	4	0	0	0	135	0.0	0.0	0.0
ハンマー投	2	0	0	0	57	0.0	0.0	0.0
やり投	2	0	0	0	54	0.0	0.0	0.0
ジャベリックロー	2	0	0	0	92	0.0	0.0	0.0
合計	86	21	16	9	1942	10.8	8.2	4.6
種目群	種目数	救護件数	処置件数	搬送件数	出場者合計	対応リスク	処置リスク	搬送リスク
短距離	26	4	4	3	507	7.9	7.9	5.9
障害（短）	18	3	2	1	325	9.2	6.2	3.1
リレー	0	0	0	0	0	—	—	—
中距離	9	1	1	1	190	5.3	5.3	5.3
長距離	1	0	0	0	8	0.0	0.0	0.0
障害（長）	0	0	0	0	0	—	—	—
競歩	2	0	0	0	31	0.0	0.0	0.0
跳躍	16	13	9	4	451	28.8	20.0	8.9
投擲	14	0	0	0	430	0.0	0.0	0.0
合計	86	21	16	9	1942	10.8	8.2	4.6
ラウンド	種目数	救護件数	処置件数	搬送件数	出場者合計	対応リスク	処置リスク	搬送リスク
予選	18	5	5	4	680	7.4	7.4	5.9
準決勝	0	0	0	0	0	—	—	—
決勝	40	13	9	4	1041	12.5	8.6	3.8
合計	58	18	14	8	1721	10.5	8.1	4.6
天候	種目数	救護件数	処置件数	搬送件数	出場者合計	対応リスク	処置リスク	搬送リスク
晴れ	86	21	16	9	1942	10.8	8.2	4.6
曇り	0	0	0	0	0	—	—	—
雨	0	0	0	0	0	—	—	—
合計	86	21	16	9	1942	10.8	8.2	4.6

表3 第16回U18/第53回U16 陸上競技大会における救護記録集計（傷害発生地点、対応地点、問題部位・症状、搬送手段）

日付	件数	性別	件数	トラブル種別	件数	対応	対応件数
2022年10月21日	6	男	16	外科的トラブル	17	医務室搬送	9
2022年10月22日	10	女	5	内科的トラブル	3	付添移動	1
2022年10月23日	5	合計	21	不明	1	処置	5
合計	21			合計	21	駆けつけ・声掛け	2
種目	件数	世代種別	件数	問題部位	件数	注意	
100m	2	U16	12	不明	3	その他	0
150m	1	U18	9	全身的な問題（発熱・虚脱など）	1	合計	21
300m	1	合計	21	---下肢---	0	ヒューマンキャリー	件数
800m	1	発生地点	件数	股関節	0	あり	1
1000m	0	ゴール直前	2	鼠径部	0	なし	20
1500m	0	ゴール後	2	大腿部（前側・後側）	7	合計	21
3000m	0	バックストレート中央	1	膝関節（前側・後側）	0		
100mH(0.762m)	0	走高跳ビット	1	膝関節（内側・外側）	0	医務室搬送手段	件数
110mH(0.991m)	2	棒高跳ビット	5	下腿（前側・後側）	2	独歩	1
300mH(0.762m)	0	走幅跳ビット	5	アキレス腱	0	ヒューマンキャリー	0
300mH(0.914m)	1	三段跳ビット	1	足関節（前側・後側）	0	車椅子	3
3000mW	0	ポストイベント	3	足関節（内側・外側）	0	担架	0
走高跳	1	表彰待機場所	1	足部・足趾（前側・後側）	0	ストレッチャー	1
棒高跳	5	合計	21	--上肢--	0	スパインボード	0
走幅跳	3	対応救護班待機地点	件数	肩関節・鎖骨	0	スクープストレッチャー	0
三段跳	4	ゴール	9	上腕部（前側・後側）	0	その他	0
砲丸投	0	第2コーナー	3	肘関節（前側・後側）	1	合計	5
円盤投	0	棒高跳	2	肘関節（内側・外側）	0		
ハマー投	0	100mスタート	4	前腕部（前側・後側）	0	前駆症状	件数
やり投	0	その他（移動中）	1	手関節（前側・後側）	0	あり	3
ジャベックスロー	0	医務室	2	手部（前側・後側）	1	なし	5
合計	21	合計	21	手指（前側・後側）	0	不明	13
種目群	件数			母指（前側・後側）	0	合計	21
短距離	4			--頭部・体幹--	0		
障害（短）	3			顔（目・鼻・耳含む）	1		
リレー	0			頭部	0		
中距離	1			頸部・頸椎	0		
長距離	0			胸椎・背部	0		
障害（長）	0			胸骨・肋骨	0		
競歩	0			腰椎・腰部	1		
跳躍	13			腹部	0		
投擲	0			骨盤・仙骨・殿部	1		
合計	21			不明	3		
				合計	21		
				症状（複数含）	救護件数		
				特になし	2		
				痛み	8		
				違和感	1		
				体調不良	3		
				出血	6		
				痙攣	1		
				嘔吐	0		
				その他	1		
				合計	22		

る。今後は、様々な競技会において、実情に沿った効果的な救護活動について多くの議論がなされることを期待する。

文献

Edouard P., Navarro L., Branco P., Gremeaux V., Timpka T. and Junge A. (2020) Injury frequency and characteristics (location, type, cause and severity) differed significantly among athletics ('track and field') disciplines during 14 international championships (2007–2018): implications

for medical service planning. Br J Sports Med, 54(3): 159-167.

加藤基 (2022) 各競技における救急体制の実態 陸上競技. 山本利春, 片寄正樹 編 公認アスレティックトレーナー専門科目テキスト [2022年カリキュラム対応] 第5巻 救急対応. 文光堂: 東京, pp.164-169.

加藤基・松尾信之介, 眞鍋芳明 (2022) 東京2020 陸上競技における医療救護活動. 陸上競技学会誌, 20(1): 97-104.

日本陸連トレーナー部 (2015): 都道府県陸協における

トレーナー活動ガイドライン. (参照用 HP : https://www.jaaf.or.jp/pdf/about/resist/trainer/trainer_guideline.pdf)

Timpka T, Alonso JM., Jacobsson J., Junge A., Branco P., Clarsen B., Kowalski J., Mountjoy M., Nilsson S., Pluim B., Renström P., Rønsen, O., Steffen K. and Edouard P. (2014) Injury and illness definitions and data collection procedures for use in epidemiological studies in athletics (track and field): consensus statement. Br J Sports Med, 48(7): 483-490.

van Mechelen W., Hlobil H. and Kemper HC. (1992)

Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. a review of concepts, Sports Med, 14(2): 82-99.

World Athletics (2020): Competition Medical Guidelines-for World Athletics Series Events A Practical Guide October 2020 – Second Edition.

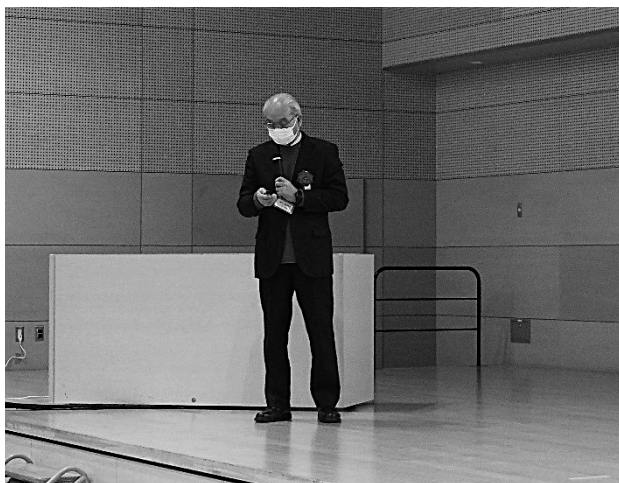
(参照用 HP : <https://www.worldathletics.org/download/download?filename=a20d107f-c682-48be-8c54-b4c3764de329.pdf&urlslug=World%20Athletics%20Competition%20Medical%20Guidelines%20-%20October%202020%20Second%20Edition>)

基調講演

陸上競技の科学研究・医科学サポートのこれまでと今後に向けて ～ 1988年から2004年までの活動を踏まえて～

登壇者 小林 寛道（東京大学名誉教授・静岡産業大学特別教授）

皆さんこんにちは。小林です。時間も少ないので、昔話をすると、いくらでも出てくるので、要領よくやりたいと思います。



1. 陸上競技の歴史と流れをつくった人

陸上競技の科学研究・医科学サポートのこれまでと今後に向けてとのことで、主に1998年から2004年まで、私が日本陸連の科学部長、科学委員長をやっていた期間についてお話しをさせていただきます。

日本の陸上競技の歴史を考える場合に、フレデリック・ウィリアム・ストレンジという東大の外国人教師が挙げられます。東大駒場キャンパスにレリーフの記念碑がありますが、日本に陸上競技や野球、ボートなどを紹介したイギリスからの外国人教師です。クラブ活動の余暇活動としてこれらのスポーツを楽しんだらいいということを紹介しました。

1912年ストックホルムオリンピックで三島弥彦さんと金栗四三さんが日本選手として初参加しました。1920年アントワープオリンピックでは野口源三郎さんが10種競技で12位。この方が日本の陸上競技の父と言われており、東京教育大学の陸上競技部の最初の部長となります。

織田幹雄さん、南部忠平さん、大島鎌吉さん、それから田島直人さん。オリンピックで金メダルを取った三段

跳びは日本のお家芸だといわれた時代です。アムステルダムで人見絹枝さんが銀メダル。ロサンゼルス大会では吉岡隆徳さんが記録を残しておられます。

今日お話をしたいのは、特に大島“かまきち”さんについてです。鎌吉（けんきち）さんが本名です。当時、三段跳びの世界記録保持者でしたが、ロサンゼルスオリンピック大会では3位、ベルリンオリンピック大会では6位でした。

カール・ディームというドイツのケルン体育大学初代学長は、ヒトラーの「世紀の祭典」といわれるベルリンオリンピックのディレクターをやった方です。非常に学識が深く、特にスポーツには科学が必要だという、非常にしっかりした考え方を持っておられました。

大島鎌吉さんは、学生として留学したわけではないのですが、カール・ディーム氏に私淑してこの人は偉い人だと尊敬し、スポーツ科学の重要性を認識しました。

そしてドイツ仕込みの科学的トレーニング理論を重視して、まず1964東京オリンピックが来る前に、オリンピックに向けてスポーツ科学者の研究グループを作りました。そして日本体育協会（現日本スポーツ協会）の東京オリンピック選手強化の対策本部長、東京オリンピック日本選手団の団長を務め、陸上競技界きっての理論派と言われた方です。最新鋭のトレーニング理論を取り入れて、日本陸上界の近代化に大きな役割を果たしました。

日本体育協会に、指導者養成制度を作ったり、競技力向上、国民スポーツの振興、国民体力づくり運動、みんなのスポーツ、Sports for All、これらはドイツの考え方なんです。そういうものを日本に定着させようとして、新聞記者として頑張っておられました。

大島鎌吉さんと非常に相性が良かったのが加藤橘夫という東大教授です。駒場の教授だったのですが、日本に戦後、新制大学の中に体育というものを位置づけた大きな功績があります。旧制大学のメンバーの中には「体育なんていうのはアカデミックの府にふさわしくない」という意見がありましたが、加藤教授は、「いや、これは大事なんだ」と主張し、語学と体育を新制大学のカリキュラムで必修化したという経緯があります。

新制大学の研究教育機関の中に体育の教員もポジションを得るわけですから、そういう人たちがサイエンスを発展させるという非常に良い力が発揮できる土壌がつくられたわけです。加藤先生は、体育やスポーツの科学化を図るために、優秀な人材を医学の分野から招請して学問の発展を意図しました。「いわゆる体育だけじゃ駄目だ、もっと医学的な視点を入れながらやっていかなきゃいけない」というわけですね。

加藤橘夫氏は、大島鎌吉さんとともに、スポーツに科学的なトレーニングを導入することの大切さを説いて、指導者の育成に尽力し、全国のいろんな指導者の講習会を回られました。僕も学生時代、奈良で行われた講習会に参加したのですが、先生たちは、ずっと全国を回っておられました。大島さんは、大阪体育大学の副学長として、加藤橘夫氏を東大定年後に大阪体育大学に招きましたが、加藤先生は、後に学長として大阪体育大学の熊取キャンパス移転にかかわりました。

2. 陸上競技の科学化を進めた人

陸上競技の科学化を進めた人ということでは、日本陸連科学委員会に猪飼道夫先生がおられます。この方も医学部から加藤先生が体育界に引っ張って来られた経緯があります。猪飼委員長の跡継ぎは名古屋大学の松井秀治先生です。私の最初の勤務先は名古屋大学でしたが、松井先生はなかなかたいした先生でした。松井先生の後を受けて、私が3代目の委員長になり、4代目は阿江通良さんが引継ぎ、「その次は杉田正明さんだよ」って僕は指名しておいたらちゃんと5代目の委員長が杉田さんになり、それに応えて現在頑張ってくれています。その先は誰が引き継ぐのか分かりません。

日本体育協会にスポーツ科学委員会とそのプロジェクトがありました。体協のスポーツ科学研究所の所長が黒田善雄先生、お医者さんですが、ドーピングの世界的権威者です。塚越克己さん、雨宮輝也さん、伊藤静夫さん、こういう方達がすごく頑張っておられました。

一方、学生陸上競技連合があり、その指導者として東京教育大学の金原勇先生がおられました。この先生は非常に有名で身長が高く、走り高跳びが専門です。特に印

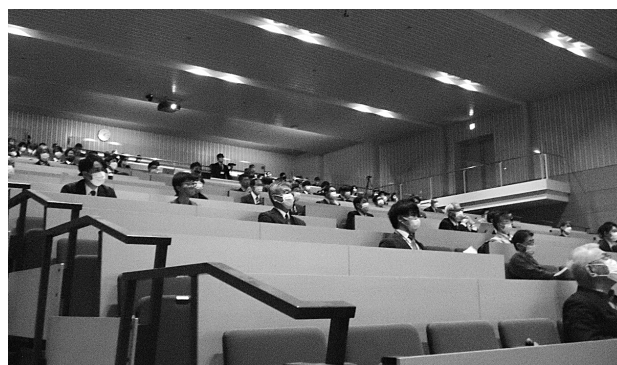
象的だったのは、「私の言うことを聞かない人は強くなりません、大腿直筋を鍛えなさい」、「もも上げをやりなさい。」という言い方をされました。ずいぶん強気な先生がおいでだと、学生時代に思いました。金原先生の教室から生まれたのが阿江先生です。それから関岡康雄先生が学生連合の会長をされていました。広瀬豊さんという方は、陸上競技社の社長なのですが、その前は陸上競技マガジンの編集長でした。月刊陸上競技を講談社から出して、その中で、「陸上競技の科学」のページを非常に大事にされました。関東学生陸上競技連盟の会長をされました。

先ほど出てきた松井秀治先生について、もう少しお話しすると、1998年のオリンピックをソウルでやるか、それとも名古屋でやるのか、候補地を争った時があるのです。名古屋は負けましたが、その時に松井先生はオリンピックの実現に向けて名古屋財界からたくさんのお金を集めました。

そして、名古屋オリンピックは実現できなかったが、集まったお金で「スポーツ医科学研究所を作ろう」ということで、愛知県の知多郡阿久比町に「スポーツ医・科学研究所」を作りました。2000年に東京都北区に「国立スポーツ科学センター」という立派な建物ができましたが、実は中身のコンセプトは、この阿久比の研究所の考え方をモデルにして、さらに大きくしたものだということです。その当時、松井先生と一緒に僕なんかも「どういうコンセプトで日本のスポーツ科学や医科学を発展させたいのか」ということを日夜いろいろ議論しながら、松井先生が理想的なイメージを膨らませて、世界中を回りながら「こういう研究所が必要なんだ」というビジョンを描き、小規模ではありましたが、阿久比のスポーツ医・科学研究所ができ、名古屋大学の総合保健体育科学センターができたという経緯があります。

松井先生はなかなか見識のある方だと思っているのですが、2009年に亡くなりました。スポーツ医・科学研究所は2022年3月に閉鎖されてしまい、町の施設になり、その歴史的な役割を閉じたわけです。そして国立スポーツ科学センターが発展し、ナショナルトレーニングセンターができていくわけですが、その最初のビジョンがずっと生きているように思います。

陸上競技の科学化進めた人		
(1960~2010年) (50年間)		
日本体育協会 スポーツ医科学 委員会	日本陸連 科学委員会 猪飼道夫	日本学生陸上 競技連合 金原 勇
競技力向上プロ ジェクト	松井秀治	関岡康雄
日本体育協会 スポーツ科学研究所	小林寛道	広瀬 豊 (月刊陸上競技)
黒田善雄 塚越克己 雨宮輝也 伊藤静夫	阿江通良	



3. スポーツ科学に対する認識

しかし、当時としては、「スポーツ科学をやったって競技力が上がるわけがないだろう」という意見もたくさんありました。1980年代のスポーツ関係者の中にも批判的な意見がありまして、「スポーツ科学は測定はするが、測定しても結果が現場に役立たない」、「握力が上がって何が競技力と関係するんだ」、「背筋力を測って何が関係するんだ」、「垂直跳びを測ってどうなんだ」、そういう批判があるわけですね。「科学者は測定することが科学だと考えているから、測定はするけど結果がすぐに出てこない」、「科学的トレーニングはそのまま選手強化には結びつかない」など。

「科学的トレーニングは結局学者の趣味でやっているんだ」、「筋力測定をすると強い選手は筋力が強い、弱い選手は筋力が弱い、だから強い選手と弱い選手の競技力は筋力と比例関係にある」、そういうようなデータがたくさん出てくるわけです。

このような測定結果から「筋力をつけなさい」となる。「重いバーベルを担いでトレーニングすれば強くなる」。しかし、必ずしもそうじゃないですよ。そういうようなことで現場と科学的な測定はなかなか難しいところがありました。僕が駒場に転勤して来たのは1986年ですが、駒場の先生から、「スポーツに科学があるのですか」、「国体が先生たちの学会じゃないですか」とか言われるほど、スポーツ科学に対する認識は低レベルだったんです。某東大教授、名前はしっかりわかっているのですがその某東大教授は、「大学のカリキュラムに体育やスポーツは不要だ、クラブ活動でいいんじゃないか、そういう意見もあってですね、本当に正課である必要があるのですか」という強い自論を吐き、激しい議論が委員会レベルで行われました。

もしも、大学カリキュラムの中で、正課から体育を全部外してしまうと、大学の体育学・スポーツ科学の先生たちも職を失いますから研究も発展しません。東大がいかにしてその正課体育を残すかっていうことについて、困難な考え方の上での戦いがあったわけです。

スポーツ科学に対する不信

- ・ 1980年代のスポーツ関係者の批判的な思考
- ・ スポーツ科学は、測定をするが結果が現場に役立たない
- ・ 科学者は、測定することが、科学だと考えている
- ・ 測定をするが、結果がすぐに出てこない
- ・ 科学的トレーニングがそのまま選手強化には結び付かない
- ・ 科学的トレーニングは、結局学者の趣味である。

スポーツに科学があるのですか。初めて知りました。（某 東大教授）
大学のカリキュラムに体育やスポーツは不要。クラブ活動でよい。（某教授）

4. 勝つためのスポーツ科学の構築

このような議論の中で、世間一般のスポーツ科学への認識を高めるためにも、「勝つためのスポーツ科学」を構築しなければならないという使命感を私は持ったわけです。

「スポーツでは勝たなきゃ人を納得させることができないんだ」という一面を持っていることを身に染みて感じさせられました。「それならばもう絶対勝つてやるぞ」という気概でこの時代は頭から湯気を出しながら頑張っていたのです。

その頃、陸連の強化本部に小掛照二さんという方がおられました。小掛さんは、三段跳びで世界記録を作った方です。小掛さんから大学に電話がかかってきて「小林さん科学部っていうのを作りたい。やってくれないか」という話になりました。

もう一方では技術研究部があり、関岡康雄先生が技術研究部長でした。なんで科学部かと言うと、「実は今までやっていた科学委員会は学者の先生たちが集まっているけど、全然競技力向上に役立たない、もっと選手強化と、直接に関わった強化本部付きの科学部として勝つためのことをやってほしい」と言われたのです。

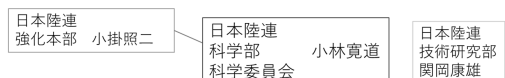
「何を一番やってほしいですか」と尋ねたら、「マラソンで金メダルを獲りたい。何とかメダル獲りたい」ということでした。マラソンでは、金メダル候補が、それまで全部失敗しているんです。それで「分かりました。何としてもメダルを獲りましょう」をいうことになりました。

「どうしたらいいのか」を一生懸命考えたわけです。それで、①競技に直結する医科学に基づいたサポートの実行、②実際の競技現場での医科学研究の遂行、③競技力向上に寄与する基礎的、応用的研究、④医科学に基づいた戦略、こういうことを全部やろうと考えたわけです。

それまでなぜ勝てないのか、まずその原因を挙げてみました。①体調を整えることが下手。②練習すればするほど強くなるという信念に固まってしまっている。③怪我、オーバーワークによる不調が多い。④アウトプット

勝つためのスポーツ科学を構築しなければならないという使命感（スポーツでは勝つことが人々を納得させる）

勝つためのスポーツ医科学を推進する



- ・ 競技に直結する医科学にもとづいたサポートの実行
- ・ 実際の競技現場での医科学研究の遂行
- ・ 競技力向上に寄与する基礎的・応用的研究
- ・ 医科学に基づいた戦略の作成

のための練習方法ばかり考えて、インプットとしての栄養に対する内容が貧弱である。⑤練習内容を外国から取り入れるものの独自の工夫が足りない。⑥トレーニング法が漸進的負荷の原理など、ステレオタイプ化している。負荷を段々強くしていきなさいいけないなど、パターン化してしまっている。⑦練習からの回復方法が下手である。⑧グリコーゲン・ローディングなど無理な栄養コントロールにこだわる。⑨練習強度やサイクルなどにこだわる。⑩心理的コントロールがうまくいかない、等々。

「なんで勝てないんだ」、「勝ってもいいのに、練習しすぎて疲労骨折になった」、「試合当日になって急にダメになっちゃった」とか、そういうようなことの原因をまず明らかにすることから手がけました。

5. 科学部・科学委員会のスタッフと活動内容

そして「勝つためのスポーツ科学」には、結局総合的な力が必要なのだというわけです。

科学部、科学委員会の初期の構成メンバーは、若手研究者で構成し研究業績にこだわらず、陸上を強くすることに情熱を持つ人、できる人（能力のある人）を集めようとした。どうしても学者だから今もそうですね、「あと3年で任期切れだから、何とかこの間にいい論文を1個でも書いて次のステップに」、ということにならざるを得ない。

そういう業績とは関係なく、陸上競技を強くするために協力できる人を集めました。

初期のメンバーをリストアップすると、運動生理では、私、杉田正明、井本、江橋、八木、石井好二郎、石井さんには、広島アジア大会の後ぐらいから入ってもらいました。バイオメカニクスでは阿江、松尾彰文、深代千之。深代さんは、現在、日本女子体育大学の学長ですね。それからスポーツ医学が川原貴、渡会公二、鳥居俊。スポーツ栄養は、石島まり子、杉浦克己 田口素子。杉浦さんは、今、立教大学の教授で、田口さんは早稲田大学のスポーツ栄養の教授になっていると思います。

それで、幸い、科学委員会の活動に成功するわけですが、どうやったら活動に成功できるか、その要素を上げ

ると、「組織」がしっかりしていないといけない、「人」がちゃんとしていかなきゃいけない。「活動内容」にたいして「お金」がないとやっぱりうまくいかない。それに「運とツキ」は非常に大きい。「機会、チャンス、時代の流れの背景」ですね。それから「歴史の中で今どういうポイントにあって、ここまでどうやってきたか」とかいようなものがやっぱりマッチングしないとうまくいかないというように思いました。

6. 短距離走の歴史

それで短距離の歴史について少し話をします。なぜかという、日本人は当時マラソンとしては、世界的レベルにあるけど、短距離は全くダメだったんですね。でも短距離だって、「どうしたら日本人が世界のレベルに行けるか」ということを考えていかなければならない。

100m で吉岡隆徳さんが当時として10秒3の世界タイ記録を出しています。暁の超特急という呼び名でした。その次はなんと飯島秀雄さんまで29年間その記録は破られてなかったのですね。飯島さんの記録は10秒1で手動時計だったのですが、ここに飯島秀雄さん、依田郁子さん、吉岡隆徳さんの写真があります。結局、飯島さんはあまりうまく行かなかったということです。

そして次に、天才ランナー不破弘樹さんが現れたわけです。この人は、高校生のときに農大二高でインターハイ10秒46の記録を出し、200m21秒、ロサンゼルスオ

勝つためのスポーツ科学には 総合的な力が必要である

科学部・科学委員会の初期の構成メンバー
(若手研究者で構成する)

(研究業績にこだわらず、陸上を強くすることに情熱を持つことができる人)

運動生理学 小林寛道 杉田正明 井本岳秋 江橋 博
八木規夫 石井好二郎

バイオメカニクス 阿江通良 松尾彰文 深代千之

スポーツ医学 (内科・整形外科) 川原 貴・渡会公二・鳥居俊

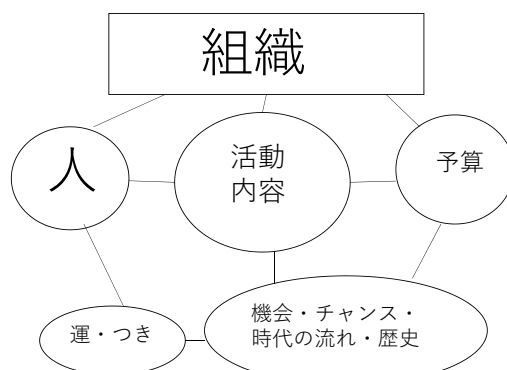
スポーツ栄養 石島まり子 杉浦克己 田口素子

スポーツ心理 (川原・鳥居)

勝つための
スポーツ科学
(これまでの
日本選手の
状況)

1. 体調を整えることが下手
2. 練習すればするほど強くなるという信念
3. ケガ、オーバーワークによる不調が多い
4. アウトプット（練習方法）ばかりを考え、インプット（栄養）に対する内容が貧弱
5. 練習内容を外国のものを取り入れるが独自の工夫が足りない
6. トレーニング法が漸進的負荷の原理など、ステレオタイプ化している
7. 練習からの回復法が下手である
8. グリコーゲンローディングなど、無理な栄養コントロールにこだわる
9. 練習強度やサイクルなどにこだわる
10. 心理的コントロールがうまくいかない

活動の成功に影響する要素



リンピックで高校生オリンピックとして話題になりました。その次がソウルオリンピックです。100mで19年ぶりの日本記録を樹立し、不破さんは、当然、ソウルオリンピックの代表になる人だったのですが、実はなれなかったんです。

なぜかという、最終選考の日本選手権の決勝で負けちゃったんです。誰に負けたかっていうと、なんと、笠原隆弘さんという中京大学の学生にです。2番が早稲田大学の沢村知宏さん。この「沢村が勝つか、不破か」という予想で、ものすごく盛り上がった時代があるんです。

その時までは、ノーマークと思われる笠原さんが優勝しました。「なぜだ、なぜ笠原が急に出来たんだ」、こういう話になってくるわけです。

7. ハムストリングスに注目

その頃、私はまだ名古屋大学の松井先生のところにいまして、松井先生が「体力測定は、どこでもできて比較がしやすい一般的な体力測定をやる」というから、私は、「それじゃ駄目です。もっと特殊な体力測定というのを考えなきゃいけない」ということで、体力測定項目についても「勝つための科学的理論の構築」をしないとダメなと考えました。そして、ジュニア合宿が愛知県で行われたときの体力測定で、サイベックスマシンという当時としては最先端の等速性筋力計を用いて、「大腿四頭筋と大腿二頭筋」を比較するという、いわば「膝関節の伸展筋と屈曲筋の比較」が必要だと考えました。

大腿部の後ろ側の筋群は、ハムストリングスです。つまり、脚の裏側の筋群がすごく大事なんじゃないかと目をつけました。大腿部の前側は、「金原勇先生の大腿直筋」です。

大腿部の前と後ろ側の筋群の等速性筋力を測定すると、どうしてもサイベックスマシンが必要です。しかし、サイベックスマシンは僕には使えませんでした。当時、東大の大学院生だった金久博昭さんに頼みました。「こんな働き者が世の中にいるのか」というぐらいパワフルに働いてくれる人です。それで不破弘樹選手を含むジュニア選手の測定を行い、そのデータをできるだけ早く選手に示したいと思いました。金久さんは、測定をしたその日の夜、一晩徹夜してデータを作成してくれました。彼は今、鹿屋体育大学の学長をやっています。

今はもう常識的に「ハムストリングスは鍛えなきゃいけない」となっていますが、当時はそうじゃないんです。やっぱり「大腿直筋と腓腹筋でしっかり地面を蹴って、腿を上げて」という時代でした。不破弘樹さんの体力測定をやってみて、大変失礼な物の言い方になりますが、あまり優れたところがないんです。「体力もあまり強くないし、筋力も際立ってはいない。何であんな強いんだ」ということから「何か秘密があるはずだ。それは何だろうか」ということを一生懸命考えました。ひょっ

として全天候用トラックが出てきたので、「足の運び方が違うんじゃないか」、「脚の表と裏の筋力のバランスがかなり良いことが必要で、表の筋力だけ強いんじゃないか」などと。

当時、大腿部の裏側の方を強化してない人は、肉離れを起こすような傾向がありまして、そういうバランスが必要なこともうすうすわかってきていました。

そして、「大腿部の裏も鍛えるべきだ」とコーチ会議で説明しました。すると、私の陸上競技の実績が話題になりました。「僕はすごく有名な選手でも何でもありません。多少陸上はやっていて、東大では有名なんですけれど、対外的には有名じゃないんです。競技の業績も無く、じゃあ選手育てたのか」というと、選手を育ててもいいません。「大腿部の裏側が大切だということがどこかの論文に書いてあるのですか」という質問には、「私の知る限り、論文に書いてありません」。「それじゃしょうがないんじゃないか」という雰囲気でした。「でも、理論的によく考えてみて、この裏の筋肉を鍛えるのが必要なんです」と説明しました。

当時、私は名古屋大学の先生でしたが、「それまで寛道先生が言うならね、うちの学生で試してみる」と中京大学の勝亦紘一先生が言って、「何をやらせればいいんだ」といわれました。何をやらせればいいんだと言ってもレッグカールぐらいしか思いつかなかったの、で、「まずレッグカール、とにかく大腿部の裏側を鍛えましょう」と。勝亦さんが「僕もね、ちょっと青戸慎司選手をトレーニングしていて、なんかそんな感じがするから」といわれ、「じゃあうちの選手使って、ハムストリングス、寛道さんの言うようにやって見ますよ」と言ってやってくれたんです。

そうしたら、日本選手権で、1988年笠原隆弘優勝、ベスト10秒35、89年青戸慎司優勝、10秒28、92年鈴木久嗣優勝、10秒30、これで勝亦さんはすっかり有名になりました。中京大学を短距離王国を育てたということで、朝日新聞の「人」の紹介欄で記事になったという経緯があるんです。僕と同じ年に生まれたのですが



2018年に残念ながら亡くなりました。今日は追悼の意味も込めて勝亦先生の話を読ませていただきました。

8. 1991年世界陸上バイオメカニクス研究班の活動

1991年に世界陸上が東京で開催されることになりました。

今までの研究というのは、実験室の中でいろいろと実験条件を設定して、有名な選手が来ても、その実験条件でやった結果を論文に書くということが普通でした。それじゃあやっぱり臨場感が出てこない。選手が、本気でやっている場面を、ちゃんとビデオとかで技術解析をすべきだと考えました。

ベルリンオリンピックの「世紀の祭典」の公式記録映画では、選手の競技技術がちゃんと残っているんですね。でも東京オリンピックの公式記録映画では監督が市川崑氏で、競技者のクローズアップ、例えばアベベの汗がパラッと滴り落ちるとか、選手の表情だとか、涙が出た、とかそういうスポーツのもつ体や感激や美の部分を撮るようになっていて、競技技術的な内容が盛り込まれていないのです。

その芸術的な映像ばかりだから、それはそれで評価が高いのですが、市川崑監督に影響を受けて、NHKやいろんなスポーツの番組でも、「今、涙が出るかどうか」、「表情はどうか」、「お気持ちはどうですか」とか、こんなことばかりなのですね。こういったのはサイエンスにならないので、きちっとした技術映像を撮るべきだと考えました。

せっかく世界から一流のアスリートが大勢来るわけですから、「よしそうならば、やってやろうか」という話なのだけれども、みんな「話が大きすぎて」通じないわけです。

結局、世界一流選手の競技技術分析研究はできたのですが、ここは阿江先生が詳しく話してくれると思います。プロジェクトメンバーは79名です。

今日のスライドに、誰の名前を入れようかと考えました。この日本陸上競技学会の理事の方や、明日、特別講

演をしてくれる結城先生もこのプロジェクトのメンバーでした。

結局、日本のバイオメカニクスの研究者たちは、みんな仲良くなって、研究を「ガーッ」と世界のレベルまで押し上げていったんですね。バイオメカニクス研究班は、そういう一番最初の活動ですね。

9. カール・ルイス選手の技術分析

1991年世界陸上では、カール・ルイス選手が、100m9秒86の世界記録を目の前で出してくれました。僕としては、そういうバイオメカニクス研究のデータの他に、「カール・ルイスという人はどうしてあんなに強いのか」ということに非常に興味を持っていました。「カール・ルイスのように走るにはどうやったらいいか」ということを、私なりにいろいろ研究をしました。

1979年から96年まで、「短距離走は遺伝的に優れた若い人しか勝てない」という考えが一般的にありましたが、カール・ルイスは年をとるとともに、どんどん強くなっていくんです。それはトレーニングの成果なのですが、100mと走幅跳で長い期間、オリンピックでトップを続けました。「この人はやっぱりすごいな」と思います。

それでカール・ルイス選手をはじめ、「世界一流競技者の技術」という研究成果の報告書が阿江先生を中心にまとまりました。その中で大阪体育大学の、伊藤章先生がカール・ルイスの動きと一般の選手を比較して、ルイスの特徴を指摘しました。

①ルイスと一般選手の腿上げ動作には差が無い、②ルイスは支持脚の膝は曲がったままキックしている、③ルイスは足首の動作範囲が少ない、④ルイスは100mの後半に速度が上昇する、⑤ルイスはつま先の着地前速度が速い。

すなわち、トレーニングするとしても「腿上げは有効ではない」、「膝は曲がったままで良い」、という話が出てきて、大分様子が変わってきたんですね。

日本人選手で、膝が曲がったままキック動作を行う強い選手が出てきたと伊藤章先生が指摘したのは、高校生であった末續慎吾選手でした。「末續は、膝が曲がったままキックしているぞ」という話があって、「そうかあ」みたいな感じでしたね。将来の大有りに違いないと。

大論争がどんどん陸上競技のスプリントの世界に起こってくるわけですね。それを契機に、ランニング技術に関する議論や研究が非常に多く行われました。

一方、私自身は、「カール・ルイスのように早く走る原理はなんだろう」、「地上を早く走るのは円が回転しているタイヤや車輪だから、その物理的な原理を走りに応用できないか」ということを考えて、「スプリントトレーニングマシン」というトレーニングマシンを1995年に3年がかりで作りました。

1996年に、朝原宣治選手に研究室に来てもらって「こ

第3回世界陸上1991年

世界一流競技者が、本気で実力を発揮する競技場面で技術ビデオをとり、技術分析するプロジェクトを考えた。

日本陸連バイオメカニクス研究特別班を創設

総員79名の大プロジェクト

班長 阿江通良（日本陸連 佐々木秀幸 小林寛道）
菅沼文雄 有吉正博
トラック班 伊藤 章 松尾彰文（ビデオ審判を兼ねる）
杉田正明 安井年文 小木曾一之
跳躍班 深代千之 長沢光雄 飯干 明 淵本隆文
金高宏文、伊藤信之 湯 海鵬 結城匡啓
投てき班 植屋清見 池上康夫 桜井伸二 若山章信
トレーニング班 麻場一徳

日本のバイオメカニクス研究が質・量ともに飛躍的に発展した。
（第1回秩父宮記念スポーツ・医科学賞 奨励賞受賞）

のマシンはどう思う」と体験してもらいました。「着地がうまくいく」と朝原選手は見抜きました。確かに、このマシンを上手に使うと、着地の際に生じる前ブレーキが少なく、円の動きを生かした軌跡を描く形で、足が運ばれるので、腰が前に進みやすい。すなわち、着地時に前ブレーキをかけないでも、ずっと脚に腰を乗せていくという走りの技術が、段々分かってきて、これはこれで今でもトレーニングマシンとしていろいろやっています。

10. 体幹筋力に関する注目

2000年になると、モーリス・グリーン選手が出てきました。深い前傾姿勢のままで50m以上走り続けることが特徴です。体格が日本人選手とあまり変わらないのです。それまでは、高速で100mを走るのには「ものすごい大きな体格で足が長い選手じゃないと無理だろう」と言われていたのが、モーリス・グリーンのように日本人と同じような体格の選手が出てきた。「何でそんなに強いのか」、「体幹部の強さに何か秘密があるに違いない」と考えていたところ、NHKのディレクターが私のところに来て、「モーリス・グリーンの強さの秘密」ということで取材をするが、「どういうところに取材の焦点を合わせたらいいですかね」と尋ねた。「多分、体幹を鍛えるような何かをやっているに違いないから、その辺をちょっと注目して調べてくれませんか」といいました。

結局、シドニーオリンピックの100m走でグリーン選手は金メダルを取りました。アテネオリンピックでは100m走で銅メダルなのですが、この人の動きを見て、多分体幹の深いところの筋肉、当時で言う「体幹深部筋」「深腹筋」ですが、「体幹が非常に重要なんじゃないか」ということに気がついた陸上の人たちは非常に多かったと思います。

それで、「地上を一番速く走る動物は、馬かチーターか」と問われれば、答えはチーターです。チーターと馬の違いは、背骨です。馬の背骨は丸くならないのですが、チーターは背骨が丸くなるんです。馬は背骨が丸くならないので騎乗に適しているのですが、腰の動きが柔らかい馬が、競馬ではやっぱり強いんです。馬でも、そういうことが段々分かってきました。

チーターの柔軟な腰部の動きというのは、こういう風にお尻が丸まるですね、そして伸びる時はスッと伸びるんですよ。このようなことから、やはり身体の中の体幹の筋肉、背骨、腰椎の動き、骨盤の動き、それらがすごく重要だということに段々で行きついてくるわけです。

それで、皮膚に近い浅層筋と言われる表面の筋肉を鍛えることから、近年では深層筋を鍛える考え方に変わってきています。

日本のこういうウェイトトレーニングの指導は大きく分けて二つの流派、いわば原点がありまして、一つはパ

ワーリフティングと、もう一つはボディビルディングです。日本の筋力づくりを指導している方は、大体ボディビルディングの系統からの人が多いのではないかなと思います。ボディビルディング的な考え方に基づいた筋の肥大や個々の筋肉を強めていく考え方です。

実は、スポーツに勝つためには本当に必要なところが多少違うのですよね。そこところがちゃんと区別できていないと具合が悪いのですが。

それで大事なところは体の深いところの筋肉というわけで、脊柱起立筋をインナーマッスルに入れるかどうか議論はあるのですが、大腰筋、腸骨筋、梨状筋、大腿方形筋といった骨盤や背骨と脚を繋げる筋肉を鍛えることが注目されました、これで日本の陸上界はまたグリーンと伸びましたね。

それで理論的に簡単な流れを言うと、まず「腿上げと強いキック力」、すなわち「1960年から86年ぐらいは大腿直筋、腓腹筋の時代」、「88年から98年の10年間はハムストリングスの時代」、「2000年以降は、体幹深部筋の時代」となります。全天候走路の走り方として、脚全体を大きく動かしていくには体幹に付いてる筋肉で脚を動かすという考え方を入れていかないと駄目だっという話になって、今の体幹筋力というのに繋がってくるわけです。

11. 科学部・科学委員会の活動内容と関係の深い人々

それでもう1回先ほど出てきた図なのですが、「組織」としては、日本陸連、日本体育協会、大学が示してありますが、「人」とか「活動内容」もありますね。今、尾縣先生が日本陸連の会長をされていますが、専務理事として、帖佐寛章先生、佐々木秀幸先生、桜井孝次さん、強化本部には、小掛照二さん、大串啓二さんたちがおられ、科学部や科学委員会の活動を非常によくバックアップしてくださいました。

それから監督では浜田安則さん、選手は山下佐知子さん、荒木久美さん、です。

小出義雄監督は、お亡くなりになりましたが、選手は、有森裕子さん、高橋尚子さん。鈴木従道監督は、選手が浅利純子さん、藤村信子さん、藤田信之監督は、選手が野口みずきさん、宗茂監督は、選手が谷口浩美さん、森下広一さん、ですね。

科学部、科学委員会としてやった活動内容には、暑さ対策、高地トレーニング、バイオメカニクス研究、栄養サポート、食事指導、体調コンディショニング、研究会、報告、試合前特別サポート、などがあります。

12. 暑さ対策について

それでまず暑さ対策ですが、それまでのマラソンは冬の大会だったのですが、世界陸上から夏の大会に変わり



ました。夏の大会に出た選手はもう選手寿命を失うって言われていた時代なんです。

それで「どうやったらその暑さでも勝てるか」というわけです。ロサンゼルスオリンピックのときに瀬古利彦さんは、「暑いところでの競技会なら、暑さに慣らして身体を鍛えるんだ」という中村清監督の考え方で暑さ対策を行いました。疲労が蓄積して失敗しました。

「厳しい条件だったら厳しい条件で鍛えてそれに慣れるんだ」という考え方は必ずしも科学的ではないといえるかもしれません。

それから当時としては水分補給をして、それを「汗にして蒸発熱で発散して皮膚を冷やす」ということが常識的な考えです。しかし、汗で体を冷やすには限界があります。

北海道マラソンですね、ここで谷口浩美さんが、体に水をかけていますが、水分を冷却水として使う作戦です。水温 13℃ の水冷作戦を、北海道マラソンで検証して、これを 1991 年の世界陸上の給水で実施したという経緯があるのです。

「なぜその水をかけるか」ということを説明するために、「マラソンレース中の体表面温度がどうなるか」ということを、赤外線カメラで観察しました。現在では普通に使われている赤外線を用いた体温計などは、当時は珍しく、日本アビオニクスという会社がそういうものを作っていたので、それを借りてきて伴走車に乗せ、ずっと谷口選手の体表面の変化を計測しました。体に水をかけると、水が冷たいこともあるのですが、体表面の温度は下がります。水をかける場合、「何℃ぐらいの水をかけたらいいのかが問題になります。僕は感覚的に「15℃の水なら大丈夫だろう」と思いました。冷たい水を体にかけて、「お腹が冷える」とか、「心臓麻痺が起きる」とか、そういう話まで出てくるわけです。でも井戸水は、年間通じて大体 15℃なので、「15℃ぐらいであれば大丈夫だろう」と思ったわけです。北海道マラソンでの検証の結果、一部の選手から「ぬるい」という感想が出たので、13℃にすることにしました。「水温をどうやって調整するんですか」という北海道陸協の人たちに対して、

「スポンジを浮かせた給水槽の水温調節は、氷を入れながら温度計で測ってください」と説明しました。世界陸上東京大会でもそのようにしました。いろいろと皆さんに協力していただきました。

その結果、世界陸上のマラソン、すごく暑かったんですが、一番最初、山下佐知子さんが銀メダルを獲得して、みんな大喜びしたんですけど、最終的に金メダルを、谷口浩美さんが獲りました。

北海道マラソンの時に 1 グラム単位の体重計で、レースによって体重はどれぐらい減るのか、何グラムを給水したかを実際に測定して、正味の水分補給の必要量を調べました。

水分補給なしでは、多汗により体重が大きく減る人と、水分補給はあまり影響しない人がいました。

体温調節はどうなっているかを調べるために、「お尻の穴から体温計入れてください」と頼みました。谷口さんは今でも「お尻の穴から体温計を入れろとか言われて入れた」って、その時の話が出てくるんです。

1992 年のバルセロナオリンピックでは男子マラソンで森下広一さんが銀メダルを獲りました。4 位になった中山竹通さんは、あんまり科学部の言うこと聞かないのですけれど、この時だけは水冷方式を取り入れました。谷口さんは「こけちゃいました」で 8 位でしたが、本当は、この人は金メダルが獲れたと思うんですね。

女子マラソンでは、有森裕子さんが銀メダル、山下佐知子さんが 4 位になりました。

13. 暑さ対策と科学的バックグラウンド

暑さ対策でどうしてそんな作戦を考えたかという、実は私自身がカリフォルニア大学サンタバーバラ校の環境ストレス研究所という所で 2 年間汗の研究をしていたんです。高温多湿の環境で運動をしたときに、体温調節がどうなっていくかという研究を、気温 49.5℃、研究の安全基準で 50℃以上でやったら駄目なので、49.5℃としました。湿度が低いと高温環境でも快適さがありますが、汗が蒸発しにくい湿度 32% の環境で運動したときの体温の変化を調べました。ポッターベッドバランスという

勝つためのスポーツ科学 暑さ対策

- 暑いところで暑さにならず（瀬古選手、ロス五輪の失敗）
- 水分を取って、汗で蒸発熱を奪う（生理学的な常識）
- 北海道マラソン
- 水分を冷却水として使う作戦（水温 13℃）
（北海道マラソンで検証）
1991 年世界陸上の給水で実施

- 1991 年世界陸上
男子マラソン 谷口浩美（金）篠原太（5 位）
女子マラソン 山下佐知子（銀）荒木久美（12 位）

- 1992 年バルセロナオリンピック
男子マラソン 森下広一（銀）中山竹通（4 位）谷口浩美（8 位）
女子マラソン 有森裕子（銀）山下佐知子（4 位）



1グラム単位の変化が検出できるベッドの大きさの体重計の上に自転車エルゴメーターを設置し、自転車漕ぎをやるのです。それで1分ごとの体重変化や汗量、体温の変化をとらえるわけです。

写真に写っているのは僕ですね、これは被検者のBob君で顔を見ると分かりますが、真っ赤な顔をしています。仰向け姿勢での運動では、意識が朦朧としてきやすいです。

耳の中の鼓膜温を測ると、これが40℃を超えると意識朦朧としてきます。

ただし直腸温だと、40℃以上になっても大丈夫なんですね。脳の中の温度、すなわち脳に行く血液の温度がそんな温度になってしまうとおかしくなってしまうことも分かっています。これは水を飲んで汗で蒸発熱を発散させるといった問題ではなく、直接冷たい水をかけるしかないという研究ですね。

14. 高地トレーニングの始まりについて

浜田安則さんは、鹿児島大学を卒業して鹿児島中央高校の先生から京セラの監督になり、その後、陸上競技連盟の職員として陸上競技連盟の改革に非常に努力された方です。特に、強化システムの改革と高地トレーニングにかかわりました。ご本人も、マラソン2時間13分で走っており、荒木久美さんや山下佐知子さんを育成していますが、月1000km以上といったトレーニング距離だけで練習量を稼ぐのはもう限界で、高地トレーニングをやらなきゃいけないということを考えました。1990年に中国の雲南省昆明で最初の高地トレーニングを行いました。

科学部も高地トレーニングの最初のサポートを行いました。

1990年夏には、コロラド州アラモサとガニソンで、Joe Vigilというアメリカのコーチに指導を受けながら行いました。6週間のトレーニングが必要ということで、6週間の高地トレーニング合宿を行いました。

高地トレーニングでのコンディションチェックは川原貴先生が考えたことですが、睡眠時間の調査、起床時脈拍、血圧、起床時体温を測ったり、早朝尿を採集します。こういうコンディショニングチェックの方法は、今もこれを科学委員会で使っています。

それでPOMSすなわちProfile of Mood State。これやると身体の調子と心の調子が大体分かる、というわけです。

これは、実際の高地トレーニングでのヘモグロビン濃度の変化データです。高地トレーニングでは、皆さんヘモグロビンが増えると思っていますが、実際は違うのです。調子が悪いとヘモグロビン濃度が低下してしまう人もいます。高地トレーニングはコンディション作りが難しいという話になるわけです。

海外での高地トレーニング

・1990年3月 中国雲南省 昆明
陸連科学部初めての医科学サポート

・1990年7月 コロラド州ガニソン（女子）
コロラド州アラモサ（男子）

1991年 コロラド ボルダー

1992年 コロラド ボルダー

1993年 コロラド ボルダー

15. バルセロナオリンピックでの事前調整合宿

代表選手に選ばれると、壮行会などがあって、「頑張ってください」と言われてご祝儀をたくさん貰ってくるんですが、実は試合前に歓迎会とか壮行会とかに出席して、選手は皆へろへろでくたびれてくるんです。そのような状態で、いきなり試合目前に選手村に送るんじゃなくて、1回休ませましようということになりました。

バルセロナオリンピックでバルセロナに飛ぶ前に、イギリスのヒースローの近くの小さなホテルを貸し切って、そこで1週間休ませて日本食を与えて、それから送り出しました。その時の栄養サポートをしっかりやったのが田口素子さんです。医事担当は鳥居俊さんで、僕はそこの宿主をやっていました。選手を引き受けて、そしてコンディションを調整するという事前の合宿調整だったのです。それでこういう良い結果が出たということがあります。

16. アミノ酸補助食品「アミノバイタル」について

1990年代に中国に馬俊仁監督のもと、マー軍団というすごく強い女性の選手団が出てきました。驚異的な世界記録を出し、金メダルをどんどん獲っていきますが、「ドーピングじゃないか」という疑いがあるのだけど、結局明らかにならないのです。とにかくすごい記録を出すんですよ。冬虫夏草、すっぽん、朝鮮人參、阿膠（ロバの皮）、大棗（ナツメ）とか摂取するのですね。亀の生き血を飲むとか。

浜田さんが実際にマー軍団の合宿に行って、いろいろと調べてくれました。やっぱり「日本の選手でこういうことをやらせたら駄目だと思う」とのことでした。「みんなドーピングに走るかもしれないから、なんとかこれを食い止めるのも科学委員会の役目かな」と考えました。

6週間の高地トレーニングで完全な食事サポートしたのだけれど、「試合前に風邪をひきやすい」、「ピーキングによって免疫低下が起きる」、「筋肉のみを強化すると疲労骨折が起きるような傾向がある」。そういう問題と

か、「強いトレーニングをしたり、高地トレーニングで練習量を増加させると貧血になる」、「強いトレーニングをすると、内臓、特に肝機能が非常に疲労する」、「超回復理論、すなわちしっかりと追い込んで、それから回復したらもっと強くなるという理論も当てにならないんじゃないか」、「強い負荷のトレーニングをすればその後の超回復が生じるとは限らない」、あるいは「筋肉痛が当たり前」。

こういうことをある栄養のセミナーで紹介しました。講演が終了してから、「先生、ああいう問題はアミノ酸を使えば解決できるんじゃないですか」という話があり、アミノ酸補助食品の開発が始まったわけです。

それで「これを飲むとポパイのほうれん草みたいに強くなっちゃう」と誤解されないように、「疲労回復っていう名目でやろう」ということになりました。

東大の大学院に大谷さんが社会人入学してアミノ酸の研究で博士号をとり、その後アミノバイタル3800という名前で商品化されました。僕が言った内容で一応特許が取れたのですが、よく調べてみると現在では少し内容が違ってなっている感じがしています。

17. 活動予算について

はじめは、科学部の活動予算が無くて、年間80万円ぐらいしかなかったのですが、今、いろいろ協力してくれて600万円ぐらいいただいています。当時の財務委員長が、予算をつくる時に「小林先生いくら欲しいんだ」といわれたので、「100万円しかないってということなら100万円分だけやります。1,000万円くれたら3,000万円ぐらいの仕事はしますよ。僕はたくさん出してくれたらその2倍か3倍仕事しますが、ちょこっとしかくれないならちょっとだけやります」と答えました。財務委員長は、「うまいこと言うなあ」と。そして「悪いけど600万円でやってください」ということになりました。その後も財務委員長は、みんな予算削減するのに科学委員会だけ600万円守ってくれました。杉田先生に聞いてみたら「一時1,300万までいったけど、今は300万円になりました」と。阿江先生の時代はそういう潤沢な研究

費があったので、研究が進み、世界的な発展ができたということもありますね。

あとは高地トレーニングと低酸素トレーニングですね。今は、高地トレーニングが盛んですが、Vigilさんがいう6週間説とか、「リビングハイ・トレーニングロウ」すなわち「標高の高いところに住んで低いところでトレーニングする」という理論だと、ずっと高地に滞在しないといけません。

そうすると、日本の場合、標高2000m近くの山はもう山奥になり、国内での高地トレーニングはできません。何とか国内で高地トレーニングができるようにするには、新しい理論を構築しなければなりません。世界の兆候に反抗してですね。そこで、「3泊4日以上、できれば1週間で効果が出るような理論を構築しなきゃいけない」と考えて、研究を進めました。

富山県の立山の室堂付近が標高2450mあるので、ここで、3泊4日の高地トレーニング研究を進めました。すると、やっぱり効果あるんですよ。立山には、自然保護条例があるので、400mのグランドづくりは無理ということで、岐阜県からの誘致もあり、岐阜県に高地トレーニング場をつくることになりました。

写真に写っているのは、当時の村長さん、役員の方々、これは僕なんですけど、「ここに本格的な高地トレーニング場を開設する準備が始まりました。飛騨御嶽高地トレーニングセンターの開設に向けて走り出したところで、2020東京オリンピックが決まりました。

18. 高地トレーニングと低酸素トレーニング

それで、「高地トレーニングでヘモグロビンが増える」という理論だけでは成り立たない。「別の理論を考えないといけない」わけです。当時、テキサス大学の教授が、「血管を弛緩させる一酸化窒素（NO）の発見」ということで、1998年にノーベル賞が授与されました。一酸化窒素（NO）は、血管弛緩作用があるので、それが末梢血管の血流をよくするから、「高地トレーニングは、組織が低酸素となっても血管拡張効果をもたらすのだろう」、という積極的な理論が構築できました。

6週間の高地トレーニングでほぼ完全な食事サポートを行っても次のような症状が出現した

アミノ酸サプリメント開発の経緯

- ① 試合前に風邪をひきやすい（ピーキングにより免疫力低下）
- ② 筋肉のみを強化すると疲労骨折を起こしやすい（関節の結合組織や腱、骨膜への負担が増す）
- ③ 高地トレーニングで練習量を増加させると貧血になる（オーバートレーニング）
- ④ 強いトレーニングをすると肝臓に負担がかかる（肝機能の疲労）
- ⑤ 超回復理論の通りには回復できない（強い負荷のトレーニングをすれば、その後に超回復が生じるとは限らない）
- ⑥ 筋肉痛が当たり前（筋組織の破壊が生じないようにすることが必要）

これらの問題点を、ある栄養学の公開セミナーで発表したところ、講演後、小林先生の指摘された問題点を解決するためには、「アミノ酸」を使う事が有効だと思います、という話が舞い込んできました。

陸上科学委員会の活動予算について

はじめは、研究費がなく年間80万円であった。

不足していた。日当20000円の。

1991年バイオメカニクス研究特別班の予算は3000万円であった。

マラソンなど、成功事例が続いたので、科学委員会の活動に対して、毎年600万円つけてくれた。

1993年の予算申請時の面談では、小林は次のように答えた。

「予算が足りないという理由で1000万円なら1000万円だけの仕事をする。しかし、1000万円なら3000万円分の仕事をします。」

財務委員長の回答

「申し訳ないが600万円でやってください」

以後、科学委員会の予算は減らされることなく、この金額が長期間にわたって配分された。

低酸素ルームについては、専修大学の前嶋孝先生がスケート選手のために低酸素ルームを最初に作りました。それは滞在型でしたが、私は1998年に駒場にテント式の低酸素環境走路をつくり、低酸素環境下で、積極的に運動するという研究を始めました。その後、「常圧低酸素環境でのトレーニングは有効である」ということが一般化し、ハイテクスポーツ塾をはじめ、小規模の低酸素トレーニングルームができ、今日では普通に低酸素トレーニングルームで運動するようになりました。この分野で、最初のパイオニアは前嶋孝さんだと思います。

19. 日本陸上競技学会の誕生

陸上に関する月例研究会や第1回陸上競技の医科学・コーチ国際会議が佐々木秀幸先生を大会会長として駒場で行いました。その他の国際シンポジウムをやったりしていたのですが、2002年に、日大の澤村博先生が、陸上競技研究会や学連の陸上競技研究組織を一体化して、「日本陸上競技学会を作ろう」と世話役になり、それで合流してこの学会が生まれました。

日本陸上競技学会のますますの発展を期待しています。ご清聴ありがとうございました。

低酸素トレーニングルームの活用

- 低酸素ルームは、1996年Rusko(フィンランド)によって滞在型として開発された。
 - 1995年前嶋孝教授(専修大学)も滞在型を開発。
 - 1998年小林は、低酸素トレーニングのためのテント式室内走路(30m)を設営。低酸素環境でのトレーニングを実施。
- 1990年代に、常圧低酸素トレーニング室が徐々に普及した。
- 2000年国立スポーツ科学センターにホテル型の低酸素宿泊室が70室、低酸素トレーニング室も作られた。

陸上競技の医科学サポート研究REPORT



陸上競技研究会(会長 小林)は、日本陸上競技学会の設立に賛同して合流した。

2002年10月26日
日本陸上競技学会発足

お世話役は
澤村 博 日大陸上競技部監督
であった

《登壇者プロフィール》

小林 寛道(こばやし かんどう)

1943年生まれ

所属：東京大学 名誉教授・静岡産業大学スポーツ科学部 特別教授

学位：博士(教育学)

略歴：東京大学教育学部卒、東京大学大学院教育学研究科(修士課程)修了、学位取得(論文提出による)。カリフォルニア大学環境ストレス研究所に2年間留学(ポストドクター)。

職歴：名古屋大学(18年間)、東京大学教養学部・大学院総合文化研究科(20年間)、東京大学大学院新領域創成科学研究科(10年間)、東京大学スポーツ先端科学研究拠点(3年間)

併任：日本大学国際関係学部(7年間)、静岡産業大学(15年間 在職中 2021年にスポーツ科学部が新設された)

主な指導歴等：

東京大学陸上運動部の監督、部長

主な社会的活動：

日本陸上競技連盟科学部長・科学委員長(1988～2004)

日本体育学会(会長)・日本発育発達学会(会長)

高所トレーニング環境システム研究会(会長)

NPO 法人東大スポーツ健康マネジメント研究会(理事長)

東京大学陸上運動倶楽部(会長 現在)

主な受賞歴：

1998年 第1回秩父宮記念スポーツ医・科学賞 奨励賞 受賞

1999年 東京都発明功労者表彰 受賞

2005年 第8回秩父宮記念スポーツ医科学賞 奨励賞 受賞

2005年 日本体育協会スポーツ指導者表彰 受賞

2005年 岐阜県高根村自治功労者表彰 受賞

2006年 中富健康科学振興賞 受賞

2011年 日本陸上競技連盟 秩父宮章 受賞

2013年 第16回秩父宮記念スポーツ医・科学賞 功労賞 受賞

主な著書：

東大式世界一美しく正しい歩き方 日本文芸社(2018)

健康寿命を延ばす認知動作型 QOM トレーニング 杏林書院(2013)

大腰筋の歌体操 杏林書院(2006)

運動神経の科学 講談社現代新書(2004)

高所トレーニングの科学 共編 杏林書院(2004)

ランニングパフォーマンスを高めるスポーツ動作の創造 杏林書院(2001)

スポーツスピード・トレーニング(監訳)大修館書店(1999)

幼児の発達運動学 ミネルヴァ書房(1990)

走る科学 大修館書店(1990)

高齢者の運動と体力 朝倉書店(1985)

メキシコの子どもの体力と生活環境 名古屋大学出版会(1985)

日本人のエアロビック・パワー 杏林書院(1982)

身体運動学概論 共著 大修館書店(1976)

基調講演

陸上競技のバイオメカニクスとサポートのこれまでと今後への期待： 1991年ごろから

登壇者 阿江 通良（日本体育大学）

どうもこんにちは。今紹介いただきました日本体育大学の阿江と言います。今日、小林先生が歴史的なバックグラウンドをずっとお話されました。私は91年から小林先生の後を、科学委員会、バイオメカニクスを中心に研究してきました。それをお話して、2025年に世界陸上が東京にきますので、それについての期待をお話したいと思います。



よろしくお願いします。では早速進めたいと思います。まず、第3回世界陸上の前後の状況をちょっとお話します。若い方が多いのでお話しますが、それまでも今お話ありました松井先生とか小林先生によってキネシオロジー的、あるいは生理学的、体力学的研究が行われていて、結構成果が出始めていました。体力評価とか、今お話があった高地トレーニング、暑熱対策、コンディショニング、それから競技会の動作分析などはあったんですね。特に高地トレーニングとか暑熱対策なんかはもう91年ではっきり成果が出てます。競技会でもバイオメカニクス研究は行われていたのですが実践に役立つには十分なものではなかったんですね。速度が大きいと遠くへ槍が飛ぶとか、そういうことがいくつかありました。その程度でした。

91年に先立って10年前ぐらいですかね、3次元の計測をDLT法とか、それから高速度VTRとか一般VTR、

PCなどに急激な変化がありました。高速ビデオなんかは筑波と東大と名古屋ぐらいにあったぐらいですね、1台800万円、1,000万円もしたんでその程度だったんですね。ところがビデオが大分出始めました、そういう時代だったんですね。丁度タイミングよく91年に東京で世界選手権やるぞっていうことが決定したんですね。それまでもさすがヨーロッパですね、ローマの大会ではイタリアとかドイツとかチェコとかの研究者が集まって自腹切りながら、多少研究費をもらってバイオメカニクス研究が行われていました。東京でやるというところで、研究班を組織して実施したいということになったんですが、今、小林先生が少しおっしゃいました国際陸連とか日本陸連ははじめ、ちょっと懐疑的だったんですね。本当にお前らはできるのかと。研究班はどうするんだとか、そんなお金ないぞとか、それから日本陸連がOKしないと駄目ですから本当に理解してもらえるのかに非常に不安だったんですね。ところが、小林先生の一言、鮮明に覚えてるんですけども本人は覚えておられるかどうかは知りませんが、当時帖佐先生は専務理事、非常に強力な力があってですね、みんな怖がって近づかないという、そういうぐらいの方だったんですけども、それでもお願いに行かないといかんということでした。

その時に小林先生が、陸連の科学的な活動が日本体育協会、今、日本スポーツ協会といいますけども、それから他の連盟の活動のモデルになるんだ。波及効果が大きいから頑張ってやろうということを言われたんですね。これはそのまま皆さんにお送りします。陸上界、あるいは陸上競技学会が頑張ると、日本のスポーツ科学ってどんどん良くなるんですね。もうはっきりしているんですね。小林先生はその時、90年だったと思いますけど、はっきりおっしゃったんですね。佐々木秀幸先生、僕は“しゅうこう”先生と言ってますけど、その方が事務局の次長になられたんですね。早稲田の教授だったので理解と協力があってですね。小林先生と二人で帖佐先生にお話に行きました。それで本当に断られると覚悟して恐る恐る行ったんです。説明すると、韓国のこととかいろいろお話が出たんですけども、驚いたことに反対はな

かったんですね。結局 OK となったんですね、まあやってみいというような感じですね。経費 3,000 万から 3,500 万円、細かく合わせてみると 3,500 万ぐらいなんですけども、陸連がこれ出してやるぞということだったんですね。

ただしそのときにですね、皆さんも若い人は知らないかもしれませんが 16 ミリ撮影のフィルムとか、VTR テープが 1,500 本ぐらい必要なんですね。佐々木先生のご尽力がありまして、富士フィルムとか、TDK などのスポンサーから提供すると言われたんです、これ大変なことですね。現像代だけでも本当はすごいお金なんですけどなんとかなったということです。それがチーム編成と機材、78 名。ドイツの人を入れるかどうかによって若干変わるんですけど、ドイツ・ケルンから 3 名とかです。それから 60 台のカメラ、VTR カメラ、通常カメラなどは皆で持ち寄ったんです。だから移動式の DLT 法キャリブレーションの開発、3 次元のキャリブレーションの方法を私が考えました。結局 78 名の大学教員、それに付いている院生、学生がついてきた。この時に杉田先生とか松尾先生とかそれから高松さんとか結城さんとかが加わり、スタートしました。

それで、ちょっと写真が出ますけど。今、国立競技場は立派で電源も多いんですけど当時は電源なんかあんまり無いんですね。だから、こういうところに電源をつけてくださいとかを工事の担当の人に頼みに行くんですね。その頼みに行った時にちょっと先輩がいらっしゃっ

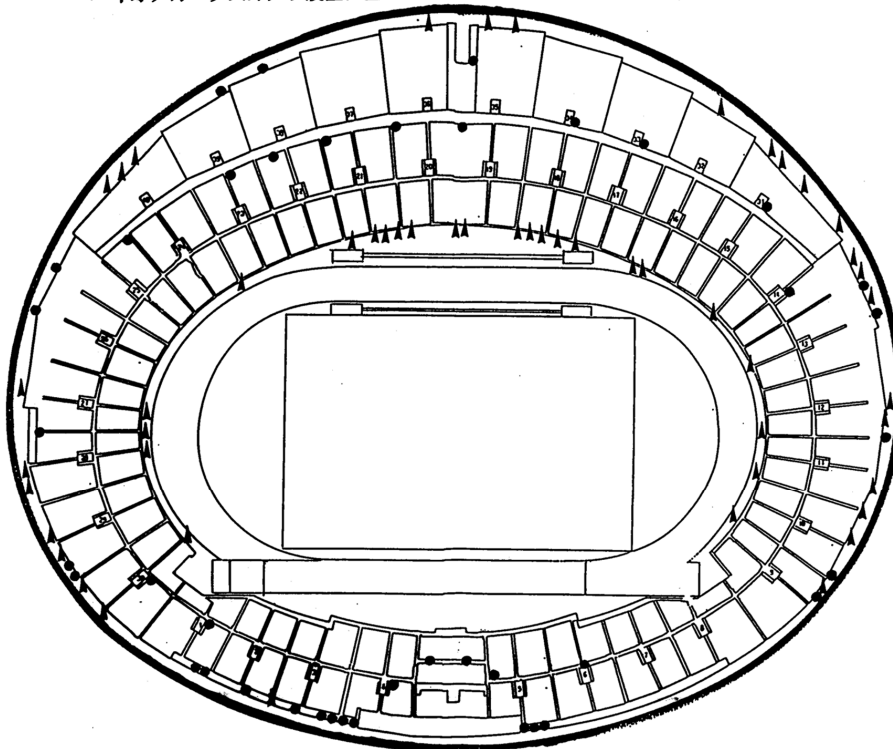
たのでそのツテを辿ってですね、電源をつけてもらったり、マーカーをつけてもらうことをやりました。それから 78 人が泊まるわけですが、お金もそんなに無いので班ごとで宿泊することにしました。我々は比較的良いところに泊まったんですけど跳躍班の深代さんがどっかの寮に泊まったんで、それでちょっと不満が出たという記憶があります。いずれにしろ、宿泊も何とかかりました。

ここにマークありますよね。今の国立にはないんですよこれ、我々がつけたんですね。10m ごとに、100m の全てのコースに 10m ごとにマークをつけてもらったんですね。これはやっぱり工事の人をお願いしたら、5cm 角なんですけどつけてやるよっていうことで。ちなみにこれ 91 年、カール・ルイスが優勝した時の写真ですが、そういうのもつけてもらったということです。

ところが一つ大きな問題が発生したんですね、これは今でもあると思うんですけど、78 名の ID の確保ですね。そんなたくさんの ID を出せないって言うんですね、それはそうですね。そこで、班員が揃わなかったらできませんから、佐々木先生のアイデアで国際陸連の理解とサポートがあつてですね、競技会の監察カメラ、当時はそれが無かったんですね。でもつけないといけないというので、トラック班の松尾先生がグループ長だったんですけど、監察カメラ操作員という名目でですね、30 名ぐらいの ID を貰ったんですね。だから 78 名のうち 30 名は、バイメカの 30 名ではなくて、トラックの補助審判という形で入れてもらったんですね。実際には細かく言うと

第3回世界陸上競技選手権における
バイオメカニクスカメラ設置位置

Camera position
The 3rd IAAF Championship, 1991, Tokyo



いろいろあるんですけど、問題が起こった時にトランシーバーで連絡します。例えば、第2コーナーのあそこで問題が起こった。そこの班員が、テープを本部に持参するんですね。国際陸連のマイク・ジーという、佐々木先生がこいつ怖いから気を付けろって言われた方がですね、じっと見て日本の監察審判員と画像を確認して、これは駄目、これはセーフとかそういうのを判定するのをやったんですね。上訴審判というのがあります。画像をチェックしてもらってやるんです。私も実際立会いましたけども、上訴審判の方、有名な選手だった方ばかりで、非常に思い出に残っています。リレー、進路妨害、フィールドのファールなどの判定をやったんですね、こういうのがあって、30名分を出してもらって成功した。そういう経緯があります。

これが100mのスタートでゴールなんですね、ここが聖火台。こういう黒い点とか三角形の点にカメラを置いたんですね、これは10mごとに置いたりですね、スタートのところは3次元で撮ったり、走幅跳の世界記録出ましたけれど、このカメラで撮ったりですね、これだけカメラ置いたということで、これ記念なのでいつも出すんです。

これは大阪の2007年、実はこの世界陸上の時は班員が30名で済みました。テクノロジーの進歩と我々も多少賢くなるので、監察カメラはもういらないということで、30名でできる。だから東京も30名プラス、バックに分析の手伝いが10名いたので、中が30名、外が10

名ぐらいで何とかかなるかなと。これ2007年の大会のカメラです。テレビのカメラと重ならないようにこれは非常に苦労したんですけども、こういうことです。それからこれ杉田さんの若かりし頃です。これはキャリブレーションボールを立ててやっています、これは非常にこちらにも気を遣って向こうも気を遣って、競技が始まる前になんとか10分だけ時間があるからやるとかですね。このテクニックは長野オリンピックの時とかも、非常に役立って今も使っています。これは大阪の長居なんですけど、カメラを置いたり、こういう形で今もやってます。これもそうですね幅跳びでやってます。カメラは最近は良くなったのでこんな高いところに置いても平気で撮れるという風な形になってます。このように苦労してやったんですけども、小林先生の表現を借りると燃えるように働いたっていうそういう感じでした。これが報告書で小さな報告書とかマガジンとかいろいろあって、小林先生と一生懸命やったのは皆さんが撮ったビデオを編集してもらいましてこういうビデオを10巻作ったんですね、日体図書館にあります。例えばこの1巻だとカール・ルイスがバーッと走るんですね、画像が出て次の瞬間にスピード曲線がデータとして出るんですね。

次に伊藤章先生がやられたルイスの走りの特徴を科学的なデータで、本を読まなくてもわかるようになってます。もし興味のある方は、ご覧になってください。これはすごく苦労しました。これ結構売れたと聞いてますし、こっちの報告書は500部作ったんですが、あつという間

Outcomes of biomechanics projects, JAAF

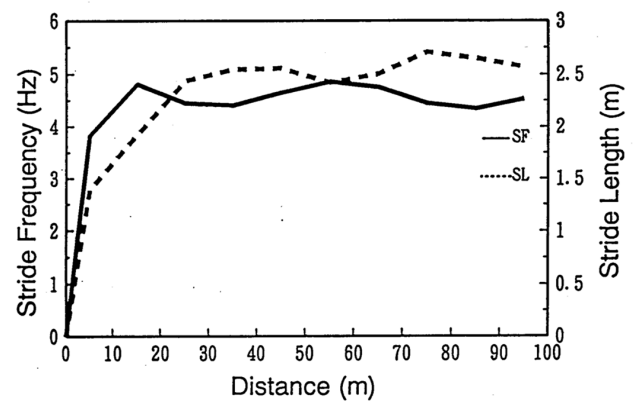
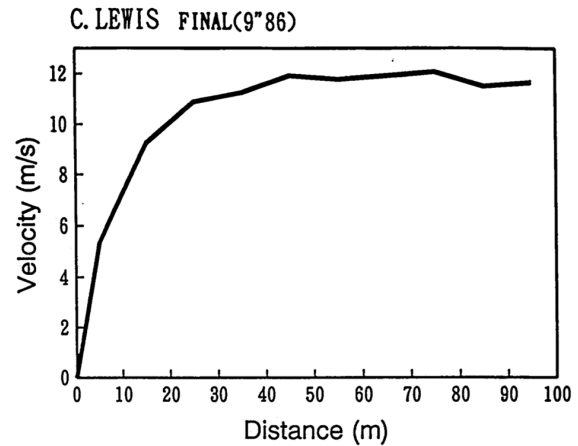


に無くなって、私の手元にもう2冊しかありません。今買ったら2万円ぐらいのプレミアがついて売ってますよ。驚くことに外国の学会に行くとこれを持ってる人がいるんですね。コピーを持っていたり、日本語を読めないでしょって言ったら、図表は読めるから参考にしてるとか、いまだに言われることがあります。

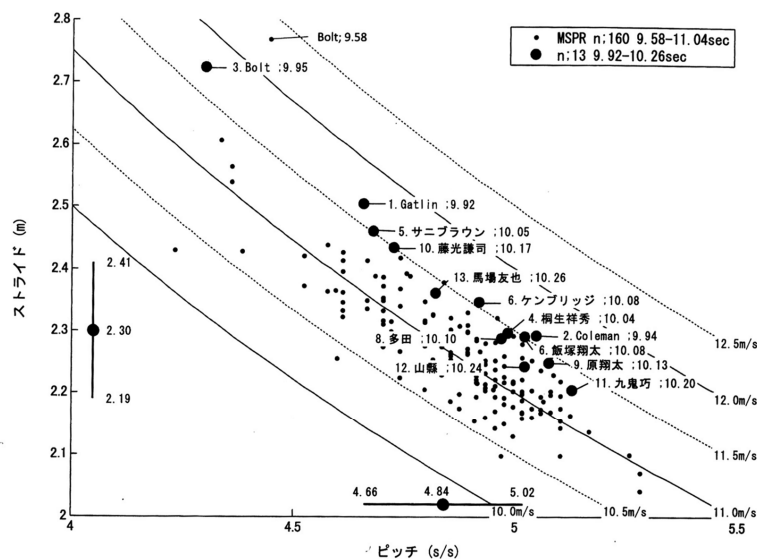
これが一つの成果なんですけども、これはルイスが世界記録を出したスピード曲線ですね、ゴトゴトしているのはカメラ10台から作ったからなんです。それでこれはですね、ピッチストライドを一步一步調べてみると、まずピッチが上がって、次にストライドが伸びて、ストライドが落ちるころピッチ上がる。こういうピッチとストライドをうまくギアチェンジしながら、走ってるというようなことも分かったんですね。これを式に置くと複雑なんですけど、そういうことも分かります。負けた選手は一本調子で走っているとかそういうことも分かりました。最近では、科学委員会がレーザーを使っています。

これは松尾先生の周到さや努力には敬意を表するんですけど、松尾さんはずっと91年からデータを集めてですね、それでストライドとピッチの関係をプロットして、桐生さんが初めて10秒を切ったときにですね、11.4m/sで走ると9秒台が出るっているのは、式でも分かっているんですね、その桐生さんのデータその通りでした。だからいかにきちっとデータを集めていくというのは非常に重要かということを示しています。

これは記念すべきなので、いつも出すんですけど、ルイスが世界記録を出した時ですね。先ほど小林先生がちらっとおっしゃいましたが、伊藤章さんのグループ、大阪の伊藤先生のグループがですね、ランニングスピー



ドと、それから腿の上がり方ですね。それから、足をよくキックアップとか抱え込みって言うんですけど、これとの相関を見たんですね。それまでは腿が上がった方がいい、抱え込みが深い人は速いと思ってたんですが、調



男子における世界選手権上位3名と日本選手権上位10名の最高速度時のピッチとストライドの関係
横軸および縦軸の中央付近の値は平均値と±1標準偏差値(松尾ら、2016)
斜めの線は等速度線(10.0 m/s ~ 12.5 m/s)であり、小さな点は9.58秒から11.04秒までのデータである。

べてみたら何も相関は無いんですね。だから関係ないというところです。膝をしっかり伸ばした方がいいんじゃないかと、先ほど、小林先生もおっしゃいましたが足首もそうだろうというのが従来の言い方だったんですけど、股関節、膝関節、足関節の伸展の大きさは疾走速度とあまり関係ない。むしろ膝と足首はあまり伸ばすと逆に負の相関があるということを見つけたわけですね。これもすごく速い人をやらないと分かんなかったんですね、日本で当時 10 秒ちょっとですから 10.5 ぐらいのこころ辺を見てみてもわからなかった。世界記録で幅広く見ることによってこういうのは分かったんですね。

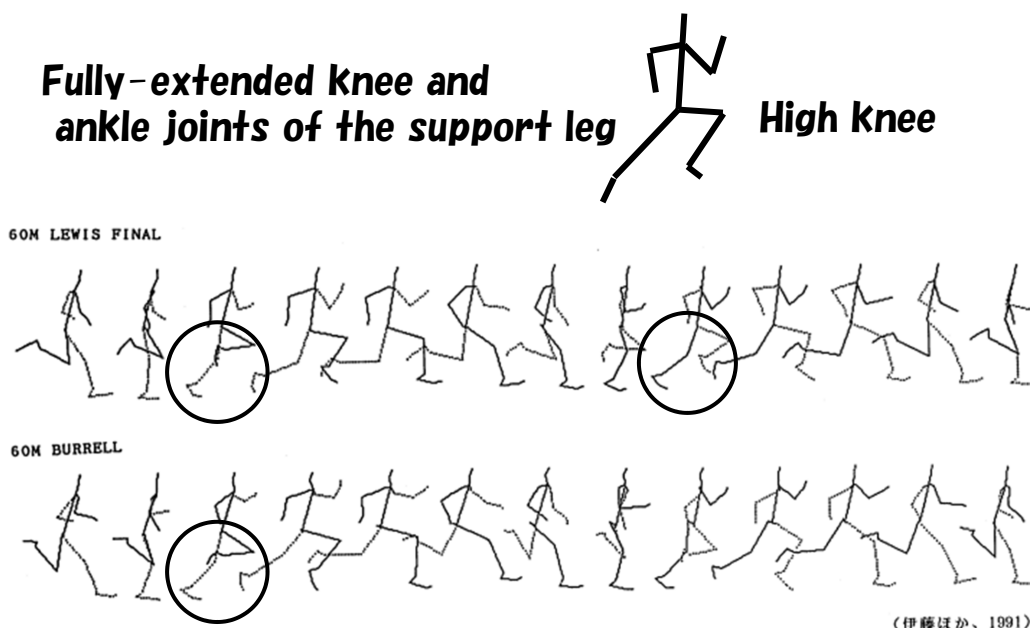
以前の理論は実験的な研究で明らかになったことでした。実験ではこうなんですけど、いい選手の試合では違うというのが大きなショックでした。これまとめると、膝を伸ばさせて僕は言われていたのに膝が曲がっている、足首も曲がっている、腿も思ったよりも上がっていない。言われていたのとずいぶん違うなと。ということでですね。そういうのが分かったんですね、それが 1991 年の後、1~2 年掛かって伊藤さんが示された。これを陸連の講習会で発表したらですね、もういっぱい質問出たんですね。本当にそうなのか嘘じゃないかって言われるんですけども。どうもそうじゃないということなんです。伊藤さんはさらに当時近くにいらっしゃった北田さんという、当時女子の日本記録を持っていた方と、こちらルイスなんですけど、支持脚の足首、膝、腰の角速度を調べてみたんですね。そうすると北田さんの方が足首や膝の速度がルイスより速いんですね、男子と女子ですね。股関節の速度はそんなに変わらないですけどもとい

うことが分かったんですね。さらにですね、カールルイスの脚全体の角速度を調べてみると股関節の角速度がほぼ同じ。北田さんは股関節とかそれよりも速いところがあるのに、脚全体の速度が遅いということで、全然違うことがわかりました。

そこで伊藤さんが見つけた大きなところなんですけども、何で膝を伸ばすと遅くなるのか、遅い人は伸びていないのかっていうことを非常に苦労されてですね、いろいろ例を挙げられたんですね。それで、遅い人はこんな感じだと、もっと速い人は下腿が前傾して膝は伸びない。それがどういうことかっていうのをもう少し突っ込んで試されてですね、膝を伸ばすキックをすると遅い人は斜め上方向へ行くんだと。これ速い人は膝が伸びないで股関節中心に脚がスイングしますから、これだけ進む。そんなことを 98 年に出されてます。

これ本には無くて、データにも無いんですけど、私は直接聞いたことです。当時北田さんが伊藤先生のところの大学院生だったんですね。これが分かってからですね、北田さんに腿をそんな上げなくてもいい、膝もカッて伸ばすように教えたけどそんなのはしなくてもいい、ということでやってみたらどうかっていうので、彼女がカムバックすると、実は元気な頃よりも記録が出たということです。データをとって、それでこういう理論的にある程度裏付けをして実証したわけです。

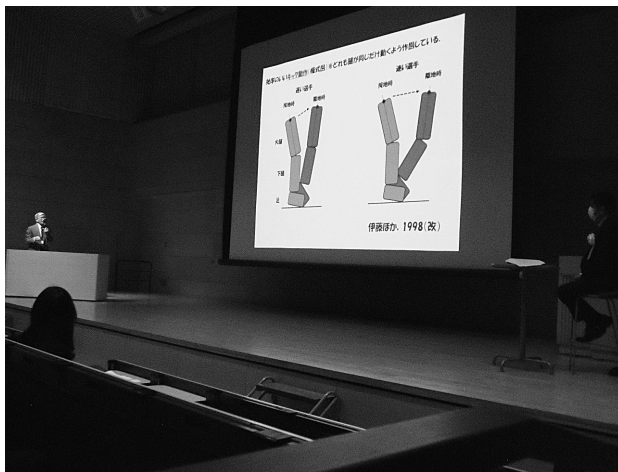
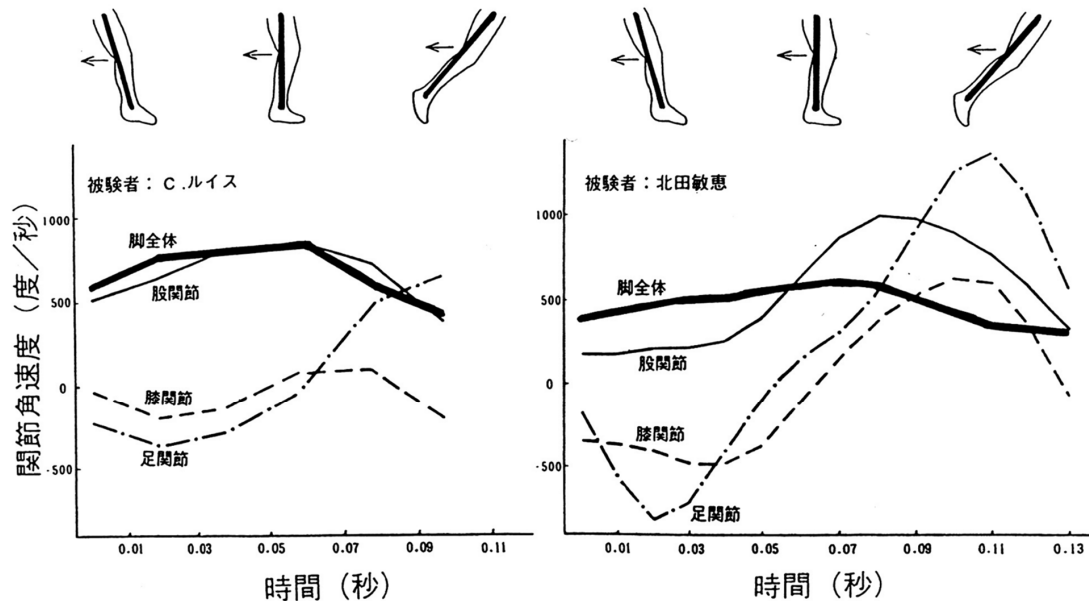
そして腿を上げなくても膝を伸ばさなくても十分速く走れると、むしろそっちの方が速いというのが分かったんですね。そういうことを明らかに伊藤さんはされたんです。これは私が作ったんですけども、これ相対運動で



From 1991 Biomechanics project, Ito et al.

スプリントストーリーの始まり: 支持脚伸展、もも上げ強調への疑問

(伊藤ほか、1992ごろから)



す。膝を曲げてこの瞬間で遅い人は膝を伸ばすんで膝を伸ばすというのは下腿が後ろに行ったりですね、大腿がこうなんです。下腿が後ろに行くと膝の速度が後ろに向きますから、結果としてはマイナスなんです。学生のスプリンター10秒4〜5、6ぐらいの選手はですね、後ろには行かないけどちょっと前、これが膝の速度がちょっと前向きになって、これワールドクラスのスプリンターでは下腿がすごく回転するんですね。結果として膝は伸びないんですけども、腰が前に行くと、これをつま先で重ねてみると、こうなります。遅いスプリンターはボンと後ろや上に上がると。学生はこのぐらい。ワールドクラス9秒台の連中はこんな感じですね。そしたら、膝が曲がってる。腿の上がりには変わらない平行です。胴体の前傾がちょっと大きい。下腿がより違うんですね、下腿の倒しが前に行くと、学生と世界一流で一步で5か

ら8cmぐらい差がありますから、その40歩ですから8cmとしても3m20cmぐらい差が出てくる。だから下腿が倒れることがすごく重要で、結果として伊藤さんが見つけれられたように膝が伸びないということがあるということです。英語では Shin roll っていうんですね。Shinは下腿、シンスプリントのShinですね。Shin rollという表現をしているようです。

こういうのは理論的に相対運動という力学的な理論を使って説明するところなんです。同じようなことをですね、有名なザチオルスキーも伊藤先生のデータについて書いてます。これを僕はスプリントストーリーって呼んでいるんです。世界陸上の大きな功績の一つですね。

これは世界陸上で8m95のパウエルさんが世界記録を出したんですけど、その時深代さんが取ったデータなんです。普通はタイプがあってですね、高く上がるタイプは体を後傾する、振り上げ脚は前に持ってきて、こんな動きじゃないんですね。スピードタイプは身体は起きるけど振り上げ脚が残ってるという、そういうタイプなんですけど、深代さんが分析した世界記録では、後傾をしてそれから大腿の腿は残ってるんですね。だから、スピードタイプとパワー、パネタイプの良いところ取りのフォームで、パウエルさんは8m95を跳んだと、ということも分析して分かったんですね。

これは私の作ったやつですけど、走高跳にはいろんなタイプがいるんですね。身長が2m以上の人、これは世界記録保持者です。こっちはAustinというアメリカの黒人で190弱、こちらはNojiという日系の3世で170台の選手、175〜176cmですね。こういう人をですね、

それぞれ個性があるんですけど、規格化、平均化して重ねるとこんなフォームなんですね。我々はこれをスタンダードモーションとか平均動作とか言ってます。良い人の動きはそれぞれ価値はあるんですけども、それを良いと取りのフォームを作ろうというので私は一生懸命やっています。

データ収集を科学委員会は今もやっているんですけど、我々の時は合宿への帯同をすごくやったんです。小林先生なんか実際の場所にいろいろ行かれてますけども、合宿への帯同も跳躍班とよくやってたんですね。分析結果を説明に行ったりですね。

それから測定のための合宿をやったり、データフィードバック練習をやってですね、いろいろやりました。これで、測定合宿、意見交換する、びっくりしたのは日本記録を作るような人はですね、自分のデータ見て自分でやってみて、フィードバックなどを2時間ぐらいやりますね。

例えば、森長さん。彼なんかもしぶとく2時間ぐらい私と話したりね。びっくりしたことがあります。あまり専門的になるんで言いませんけど、日本の選手とあんまり身長が変わらない外国の女子選手のデータを分析して、どういう特徴があるかということ合宿で跳躍の人に話をしたりしたこともあります。三段跳について突然澤木強化本部長から電話がかかって三段のデータがあるだろうと、それを集めて北海道で皆合宿してるから説明に行っていこうと言われて、行ったことがあります。そのときちょうどエドワーズのすごいデータがあったんでそれと比べて杉林さんとかそういう話をしたことがあります。

これも合宿での対応ですね。また醍醐さんの日本記録とかそういうのも話しに行ったことがあります。さらに測定の合宿ですね。スプリントとか、実際プラットフォーム上で跳んでもらって、当時まだJISSが完璧ではなかったんで、こういうことをやってそれで夜にミーティングをして、このデータを話して、次の朝こういう練習を試みようとか、こういう意識を試みようというので、次の午前の練習にですね、それを活かして練習して、また午後、見てとかそういうこと随分やりました。

これはJISSの国立スポーツ科学センターの陸上競技場なんですけど、これはその一つの例です。走高跳で冬なんでそんな高いのは跳べないんですけど、ここにJISSのプラットフォームがありますから、ここで踏み切って降りてくると、さっとデータを見せるんですね。これ選手でこれ山下さん阪本さん、それから伊藤さん、これが杉林さんの後ろ姿ですね。今、跳んだデータを出して、こういう感じでこうだったよ。伊藤さんとか阪本先生がこのように入ったらどうかとか、どうだこうだって言って、じゃあ分かりました1本やってみますって言ってやるわけです。こういう地面反力を示して比べていました。

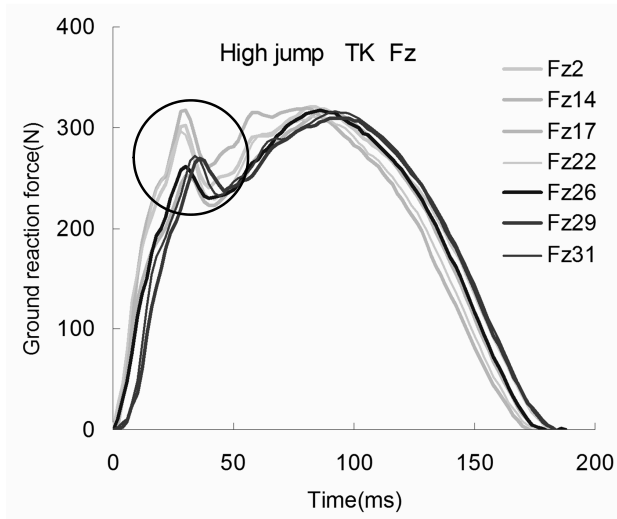
選手が跳ぶと、衝撃力があるとガクッとくるので、これは走高跳で日本記録を持ってた人の冬の練習時のものです。ゴーンって入って膝が曲がりすぎたとかですね、踏み切り時間が長すぎたとか、こういうことをおっしゃるわけですね。段々良くなって感じが良かったとか、こういうことをもう1回見せて1回跳んで1回見せて1回跳ぶ。こういう即時的なフィードバックをやるんですね。そういうことをずいぶんやりました。これはその内省です。これは鹿屋で合宿した時にですね、金高先生に入れてもらったものです。普通、跳躍なんか10回も跳べばもう一杯一杯なんです。この時ちょっと助走が短いが30数回跳んでですね、段々良くなったとかがデータを見てやってみてデータを見てやってみて、そういうことを繰り返しました。即時的なフィードバックをすごくやりました。

最初こんな衝撃が大きかったのが段々と慣れてくるとこんな感じになります。1回1回跳躍の踏み切りの入り方とかですね、いろいろとやるんですね。そうすると、段々違ったのが出るんですね。違ったのが出てきた方が良くなったりするんですね。だから実際はやってみないと分からんという感じですね。だから即時的なデータを見ながらフィードバック、この時やってくれた選手は後で結構データが理解できるようになったと思います。このような即時的なフィードバックということで味をしめて、何度もやったことがあります。

これは中京の田内先生に借りたんですけど、村上さんのデータなんですね。彼は皆さんご存知の通り、オリンピックにも出て世界選手権にも出て、日本選手権10連覇しています。ところが世界選手権には出たんですけどそれほどじゃない。ところが2009年にはメダルを獲っています。その時に科学委員会は大阪であった世界選手権のデータを田内さんが集めて、世界トップの標準動作、平均動作と比べてみたんですね。そうすると、やりを構えたときに村上選手の腕がスッと早めに上がることがわかりました。

彼ほどの選手ではこれわかってたんですね。ところが、データを見せて合宿でかなり田内さんが説明したりするとですね、変えてみようかなっていう気になるんです。なったんだそうです。彼なんかはもう昔から言われて知ってるし、それから昔残しすぎて失敗したというトラウマがあったんですね。ところがこれで見たらどうも違うなという感じで、一冬かけて練習したんです。

これもよく分かりますよね。これを上から見たとこんなんですけど。溜めが全然違う。溜めが大きいと良いというのはみんな知ってるんですけど、本当に改善するかということです。一冬かけて実際に背中中の筋肉、背筋とか随分練習したらいいんですけど、やってみて、2009年の世界選手権でメダルを獲ったという、こういう形ですね。はっきり認識して変えていったという一つのデータ



です。

再びピッチとストライドについてみます。これは先ほどの松尾さんのデータです。普通ピッチ×ストライドが疾走速度を決めるんだというんですけども、新しいアイデアをちょっと考えたんですね。普通ピッチとストライドを掛け合わせるんですけど、それを対数に置き換えてみると、こんな式になるんですけども、そうすると疾走速度というのは、ストライドとピッチを掛けたものですが、対数を使うと、掛け算から足し算になるんですね。だから疾走速度をストライドとピッチの足し算で示せる。そうすると何%ストライドが伸びて何%ピッチが上がった下がったとかですね、割合でいけるんです、それを1で割ると。そうすると疾走スピード、対数ストライド、対数ピッチ、対数というのを導入したんです。これは今日、発表を長距離についてすると思うんですけど、まだ多少こねてないところもあるんですけどこういうのもあります。

科学委員会のお手伝いをしながら、大阪で長距離の選手権があった時に日本記録が出た大会がありました。それを撮ることができたんですね。これは4150mの一流選手の平均動作、これは8150mの一流選手の平均動作、27分ちょこちょこですからかなり速い18名の平均ですね。

それを先ほど言った対数で置き換えて、横にピッチ、それから縦に対数のスライド、もちろん身長で割ります。マイナスの値は身長よりもストライドが短いという指標なんですね。そしたらこういう形になって、ストライド型、ピッチ型、その中間型とかですね、こういうのがはっきり出てるんですね。それからこれは8150mですね。そうすると横軸がちょっと広がったんでピッチが高い方にシフトしてくるなというのがわかります。

4000mのあたりと8000mの辺りで、ピッチ型、ストライド型が変化する人、それから変化しない人、ストライド型だった人がピッチ型になるかとですね、そういう

新しいアイデア例

対数ストライド と 対数ピッチ

疾走スピード
= ストライド × ピッチ

$$\log(V) = \log\left(\frac{SL}{H} \times SF \sqrt{\frac{H}{g}}\right) \quad (1)$$

かけ算から足し算へ、
割合で評価が可能

$$= \log\left(\frac{SL}{H}\right) + \log\left(SF \sqrt{\frac{H}{g}}\right) \quad (2)$$

疾走スピード
= 対数ストライド + 対数ピッチ

$$1 = \frac{\log\left(\frac{SL}{H}\right)}{\log(V)} + \frac{\log\left(SF \sqrt{\frac{H}{g}}\right)}{\log(V)} \quad (3)$$

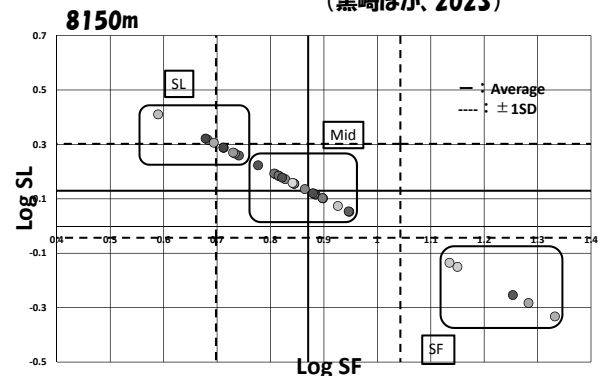
(黒崎ほか, 2023)

時にどうということが起こるかというのをこれからいろいろ出して今検討しているところです。まとめると、ちょっと違った見方で対数を入れると、何%ストライドが伸びたか、記録が良くなったとかですね、そういうのが分かります。ちなみにこのレベルだと身長以下のストライドだとやっぱりあまり成果が出ないということも新しい見方をすれば分かってくるということです。

ここでガラッと話が変わるんですけど、あるコーチ、大学の教員なんですけど問いかけで、研究会がありました。その時、彼は最近のハードル種目の目覚ましい記録更新とか、若手の台頭の理由はなんですかねと聞くんですね。僕は答えられませんでした。99%はコーチや選手の努力ですけども、このことに対して陸連科学委員会の見解はどうかですね。実はこういう理由で、このところは良くなって記録が皆出るようになったんですよ、というようなことを、今、科学委員会が持ってるデータで言えるかっていうとですね。僕は今、外にいますから好きなこと言わせてもらいますけども、外から見ると、レースパターン分析は多い、これは重要なことなんですけども、動作の分析、研究が少ない。特に短距離だけでなくフィールドはもうほとんどないですね。

合宿帯同とかフィードバックこれもやっておられるんですけども、即時的なフィードバックとかですね、選手が知りたいことをその場で出して、そこで改善をして試みるというようなことを今やってるかどうか、JISSと

一流選手および学生選手の対数SLとSFの関係
(黒崎ほか, 2023)



いう非常に強力な施設ができたのですから、それをもっとやってもいいんじゃないかと思ってるところです。

競技会、パフォーマンス分析から基礎領域へ、そして、実践に貢献するにはどうしたらいいかですね。多くのコーチ、選手、研究者が持った違和感をですね、これはカール・ルイスが出たときに小林先生もおっしゃいましたが、そんなに膝が伸びてくわけない、あれは素人でも分かります。それから、でもなぜ速いかなですね、でも気づいた方はいるんですね、膝はあまり伸ばさなくても良いということは、実は昔の本にそういうことが書いてあります。足首を伸ばすけど膝を伸ばさなくてもいい疾走方法があるんじゃないか、小野勝次さんという数学の先生が書いたものです。何千人という方がルイスを見ただけですけど、それをきちっと言った方はいないですね。

自信を持って言い出せない。ちゃんとしたデータが無いから。質的な観察、実験的な試技、量的観察いろいろ測定したり見たりすると、どうなってるか分かるんです。違和感を感じたら確かめてみよう。

これまでもデータはあったんですけど、なぜかの吟味が無いんですね、どうなっているかは分かった上で、伊藤さんの最初のデータでも膝は伸びないとかだよと、どうなってるかって分かっててもなぜかを考えないといけません。曲げたままでいいのかとか、また誤った解釈も出てくるわけです。なぜかを様々な方法で考えて確かめる。これは現場での試行とかですね、考察等を含めてですね。これが科学の入り口かなと思います。伊藤さんはあのような形で、それから跳躍とかいろんなものをいろんな原因でこう考えてるわけですね。これがあって次に実践でどうすればいいか、新しい技術の理解とか、トレーニング法の示唆としてどうすればいいかっていうのを考える必要があります。どうなっているかを考えて、確かめて、なぜかを一応考えてみると、そんな簡単には答えは分かりませんけども、どうすればいいかを考える。ここになるとやっと現場で使える、使ってもらえるところに行くんじゃないかと思うわけです。

そこで短距離向上への貢献は、先ほど出た通りですね。それにスプリント学会というのがありますから、これはかなり貢献したはずなんですね。そういうところもあって短距離が成功したということです、これ $n=1$ の科学ですね。

ルイスは1人なんですね。科学だとどうしても数を集めて、平均で分散とか統計的に有意とか言いますが、実は $n=1$ の科学とかですね、あるいは少数の科学、これこそ実践報告とか事例報告の研究ですね、これをやっぱり見直した方がいいと。ただ、感想でも困るし、単なるパッと写真見せただけでも困るんで、必須の条件として客観性の確保ですね、これを確保していくということが必要なんじゃないかなと思っています。伊藤先生の例を挙げましたが、このようにすることが、真実に近

づく方法じゃないかと思うんですね。

ある物理の先生は何億というデータを取ってるのですが、「真実は少数にあり」っておっしゃったんです。ただ世界記録は1人、日本記録も1人なんでそれに近い少数のデータをよく見る必要があるんじゃないかと思っています。

最後に、25年に大会がありますから、期待を述べさせていただきます。まず、一つはデータ収集の方法の工夫ですね。昔はビデオでやりました。今は、レーザー計測による方法がいろいろ発達してますから、それをうまく使う。私の計算では、国立競技場に8台、手すりにセットすると全種目、棒高跳なんかでも十分計測ができます。細かい動作は難しいかもしれませんが、スピード分析なんかはできます。それから自動でビデオがデジタル化できる時代にそろそろなって来ましたから、そういうテクノロジーも使えると思います。

これはその一例、バレーボールで実験したもので、3台のレーザーレダです。実際にはこんな置かなくても良かったんですが、これは水野先生に協力いただいて、日体の健志台の陸上競技場に3台置くんですね。そうすると、こういうことができます。選手8名にグラウンドに来てジョギングでいいから走ってくれて言ったものです。速度が変わると色が変わるという設定にしたりすることができます。こういう形で200mを8人走っても撮れるんですね。それでゴールして1分ぐらいしたらもうパッとデータが出るんですね。同じようなことが長距離でも、それから今日は出しませんでしたが、棒高跳のような3次元動作でもできます。

これは自動デジタル化で、まだ問題はありますが、このゴルファーは素人でクラブを振ってもらったんですけど、自動的にデジタル化できます。青いのが日体のゴルフ部20人の平均です。それと比べたりですね。そういうことももうできるようになってます。同じようなことを陸上で子どもたちにやれば、良いフォームを見つけて勉強にもなるかなというところです。テクノロジーが日進月歩ですから、どんどんできるでしょう。

2025年の世界陸上・東京大会への期待

1. データ収集方法の工夫(導入)

例:レーザー計測による様々な種目の即時的計測
国立競技場へ設置すれば、トラック種目だけでなく、フィールド種目も可
自動ビデオデジタル化

2. 世界への発信

国際プロジェクト(世界陸連、科研費など)
メディアへの即時的発信
国際陸連の出版物やwebページ

3. トレーニング場、ウォームアップ場での観察(撮影)と記録

4. 報告書(データブック)、論文での発信

スポーツ科学として
これまでの報告書や論文は今でもISBSなどで評価されている

5. 若手の陸上競技研究者、コーチ・指導者の刺激と育成

そして、世界への発信をしてほしい。陸連、国際陸連、科研費などを貰ってきて、国際プロジェクトを、またメディアへの即時発信、世界記録がでた次の朝にはもうメディアにデータが行き渡っていると、それをどう使うかはメディアの実力次第なんですけど、そういうものが国際陸連の出版物、パブリックページ、今は英語で書くのが当たり前でしょうからそういうのを、あらかじめ準備しておく。それからトレーニング場、ウォームアップ場での撮影と観察、これは東京大会の時は、麻場先生がやってくれたと思うんですけど、一流選手はどういうウォームアップをしているか、ルイスがどんなスプリントドリルをやっているのかななどをビデオで撮ってそれを記録にする、残すというようなことも非常に重要です。

そして、データブックを作成する。紙媒体でもいいし、電子媒体でもいいんですけど、それから、論文としての発信。論文としては、やっぱりスポーツ科学としての業績も作らないといけませんから、いろんな報告書とか、論文は今でも評価されてるし、やっぱり物があるっていうのはすごく強いと思います。

それから東京大会で一番大きな成果がこれかもしれません。若手の陸上競技の研究者、コーチ、指導者の刺激と育成、1991年辺りはまだ40歳ぐらいでしたから、その時に皆仲間ができてですね、すごく和気あいあいとやったんです。その後、多分、皆で100本ぐらいは論文を書いたと思うんですけど、それで皆がプロモーションされたり、それからもちろん、その当時、弱かった短距離がリレーで今強くなっていますね。まだもっとやらないといけないと思いますが、このように見えない成果がこういうところに出るんじゃないか。だから2025年に、あんまりプレッシャーをかけてもいいないんですけど、当時よりはずっとよくできるようになっているんで、期待したいと思います。

どうもご清聴ありがとうございました。

《登壇者プロフィール》

阿江 通良（あえ みちよし）

1951年生まれ

所属：日本体育大学スポーツ文化学部 教授

学位：博士（教育学）

略歴：1982年 筑波大学大学院博士課程体育科学研究科

2006年 筑波大学体育科学系 学系長

2008年 筑波大学体育専門学群 学群長

2012年 筑波大学副学長（教育担当）、理事

2015年 日本体育大学特別招聘教授

筑波大学名誉教授

2005年 日本陸上競技連盟科学委員会委員長（→2011年）

主な指導歴等：

1983年 筑波大学陸上競技部の跳躍アシスタントコーチ

1989年～1993年 同 混成競技コーチ

学生選手権 十種競技、七種競技 優勝など

主な社会的活動：

1991年 第3回世界陸上競技選手権大会（東京、1991）バイオメカニクス研究プロジェクトリーダー

1998年 IOC Biomechanics Research Project in Nagano Winter Olympic Games. Speed skating project leader

2007年 第11回世界陸上競技選手権大会（大阪、2007）バイオメカニクス研究プロジェクトリーダー

主な受賞歴：

1998年 第1回秩父宮記念スポーツ医・科学賞奨励賞 日本陸上競技連盟科学委員会バイオメカニクス班

2011年 日本体育協会公認スポーツ指導者等表彰

2012年 日本陸上競技連盟 秩父宮章

2019年 国際スポーツバイオメカニクス学会 学会賞 Dyson Award

2020年 日本スポーツ協会 秩父宮記念スポーツ医・科学賞 功労賞

所属学会：日本体育学会（名誉会員）、日本バイオメカニクス学会（名誉会員）、日本コーチング学会、日本陸上競技学会、国際スポーツバイオメカニクス学会、国際バイオメカニクス学会、アジアキネシオロジー学会など

主な著書：スポーツバイオメカニクス 20講 朝倉書店（2002年）、バイオメカニクス 杏林書院（2004年）、体育・スポーツ指導のための動きの質的分析入門 ナップ（2007年）、身体運動のバイオメカニクス研究法 大修館書店（2008年）、スプリントトレーニング 朝倉書店（2009年）、スポーツ科学・医学大事典 西村書店（2010年）、スポーツ技術のバイオメカニクス ブックハウスHD（2011年）

〔日本陸上競技学会第21回大会〕

共催：公益社団法人日本学生陸上競技連合・関東学生陸上競技連盟

傍聴記（大会1日目）

庄司 一眞（中京大学大学院 スポーツ科学研究科）

I. はじめに

日本陸上競技学会第21回大会は2023年2月22-23日に、日本体育大学世田谷キャンパスにて開催された。前回大会（岩手大学主催）はオンライン形式であったため、本大会は約3年ぶりに対面形式での開催となった。本大会では、「陸上競技の強化と科学 温故知新」というテーマを中心に、基調講演、一般研究発表、シンポジウムが実施された。本稿では、登壇者およびシンポジストの方々の講演内容、学会大会の様子や所感について報告させていただく。

II. 基調講演

基調講演は「陸上競技の科学研究・医科学サポートのこれまでと今後に向けて」というテーマのもと、杉田正明先生（日本体育大学）が司会進行を務められた。はじめに小林寛道先生（東京大学 名誉教授・静岡産業大学）から「陸上競技の科学研究・医科学サポートのこれまでと今後に向けて～1988年から2004年までの活動を踏まえて～」について、次ぐ阿江通良先生（日本体育大学）からは「陸上競技のバイオメカニクスとサポートのこれまでと今後への期待：1991年ごろから」という題目でお話していただいた。その中でも特に印象に残ったお話が2つある。

まず一つ目は、小林寛道先生の“勝つためのスポーツ科学の構築”についてである。1980年代の日本では、“諸外国に勝てないなら、科学的研究は学者の趣味”と揶揄されるほどスポーツ科学に対しての批判が多かったという。それらの批判に対抗してスポーツ科学の存在を確立させるために、猪飼道夫先生、松井秀治先生は陸上競技の科学化を推進した。そして松井先生の後任として日本陸上競技連盟科学部長・科学委員長に就任した小林先生は、熱い情熱を持つ若手研究者を募り、1991年の第3回世界陸上では切望されながらも実現しなかった世界一流競技者のパフォーマンス分析を実現させた。その後、得られたデータをもとにした多くの示唆により、日本の陸上競技に関するバイオメカニクスの研究は世界と肩を並べるほど成長を遂げたと述べられた。現在まで日本陸上競技学会が存続していること、日本では陸上競技の研究が他競技よりも進んでいることは、“勝つためのスポーツ科学の構築”という使命感を胸に邁進し続けた前

進の方々の存在がとても大きいように感じた。また、若手時代の繋がりはこの先30-40年と続くというお話もいただいたため、学会で知り合えた方々とのご縁を大切にしたい。今後の研究人生を邁進していきたい。



印象に残った二つ目のお話は、阿江通良先生の“n=1の科学からの普遍性と特殊性”についてである。1991年の第3回世界陸上を境に、日本陸上競技連盟の科学委員会の活動はパフォーマンス分析にとどまらず、合宿帯に伴うデータ収集、選手・コーチへのフィードバックなどが行われるようになった。しかし、近年における日本陸上界の好記録続出に関する要因について、科学的根拠を示して明確に答えることはできないという。膨大なデータを扱っている、ある物理学者は“真実は少数にあり”と述べており、今こそ少数データの解釈に関して吟味すべきだという。これまでのバイオメカニクスの研究は、多数のデータをもとに動作のメカニズムについ

て評価してきたため、今後は客観性が保証された $n=1$ および少数データの研究から普遍性と特殊性の両方向への発展に期待していると話していただいた。個人的に、日本のバイオメカニクス的研究の中核を担う阿江先生が $n=1$ の科学の推進について話していただいたのは、今後のバイオメカニクス的研究の流れを左右するほど重要なことであると感じた。このような $n=1$ の科学は、“競技者の身体的特性に合わせた技術体系”、“それらの技術獲得に至るまでの動作的変容”など現場で活用できる示唆へと繋がるのではないだろうか。陸上競技の現場で従事する者として今後の事例研究、症例報告にも注目していきたい。



Ⅲ. 一般研究発表（ポスター発表）

一般研究発表は1日目の基調講演の後に開催され、ポスター発表は全37演題から構成された。私自身、“陸上競技の研究”と聞くと、走る、跳ぶ、投げるといった動作のバイオメカニクスの研究をイメージするが、運動生理学および神経筋生理学的、コーチング学的な研究なども豊富であった。

ポスター発表では、対面学会の魅力を存分に感じることができた。100人を越える研究者が一会場に集結し、発表者は独特な緊張感の中で発表していた。また、質疑応答では、第一線で活躍されている先生方に加えて大学院生からも質問が飛び出し、制限時間に収まらなくなるほど活発な議論がなされていた。本学会で発表や質疑の内容を拝聴することで、仮説研究の重要性、結果の解釈およびメカニズムに迫る考察の重要性について改めて認識する貴重な機会となった。また、対面学会の魅力な点は、有名な先生方から“直接”ご意見を頂戴できることである。こうした直接的な交流により新たな知見を得られること、研究者としての引き出しが増えること、顔と名前を覚えていただくことも対面学会の魅力の一つであろう。



Ⅳ. シンポジウム 1

シンポジウム1は一般研究発表の後に開催され、「陸上競技のコンディショニングサポート」というテーマのもと、桜井智野風先生（桐蔭横浜大学）がコーディネーターを務められた。

はじめに須永美歌子先生（日本体育大学）が「ライフステージを見据えた女性アスリートのコンディショニング」という題目で講演された。近年、女性特有の健康障害を抱えながら競技を続けるアスリートが多く存在することが問題視されている。特に思春期における長期的な無月経は、卵巣機能や骨代謝機能に悪影響を及ぼすことが確認されている。しかし、月経異常であることを自覚していながら“楽だからこのままでもいいや”と安易に考えてしまう女性アスリートは一定数いるため、月経異常の深刻さを伝えるのに苦労していると述べられた。そんな中で突破口となったのが、“月経の有無および月経周期が競技パフォーマンスに与える影響”である。ご紹介された論文の内容を要約すると、“たとえ同じように練習したとしても、月経正常群と比べて月経異常群の方は最終的な競技パフォーマンスが低下する”というものである。須永先生の講演を拝聴することで、健康な状態を維持しながら競技力向上に取り組むことの重要性について強く認識することになった。また、月経周期に応じたトレーニングの解明についてのお話が大変印象的だった。近年の報告によると、卵胞期（生理中～生理後）には筋肥大効果が高い可能性が認められているようである。これまでのスポーツ指導におけるコンディショニングは男性アスリートの育成を目的として構築された方法論に基づいている。近年、女性のコンディショニングに関する研究が注目されているため、今後の女性アスリート育成に関する方法論の確立に期待したい。

次に、鳥居俊先生（早稲田大学）が「テストステロン値からみた長距離選手のオーバートレーニング、コンディショニングのサポート」という題目で講演された。これまで男子選手のコンディショニングの指標として、男性ホルモンであるテストステロン値が活用されてきた。男子長

距離選手のテストステロン値は、全体として同世代標準範囲の中で低い値を示すことが確認されている。そこで、大学男子長距離選手を対象にテストステロン値を学年別に比較したところ、大学一年生が最も低い値を示した。その後、大学生の前後の年代についても同様の測定をした結果、低い年代ほど骨代謝マーカーが高く、テストステロン値が低いことが示された。そのため、校種の中でも発育段階が幼いと推測される高校一年生や大学一年生の場合は“骨格の発育段階”を考慮したコンディショニングの処方が必要であると述べられた。また、オーバートレーニング症候群の選手では、テストステロン値が著しく低い値を示すが、休養による回復に従って増加していくことを経験的に理解しているとのことだった。また、男性ホルモンの分泌が抑制され、テストステロン値が長期的に低い値を示すと、骨密度の低下により疲労骨折のリスクが高まる、筋力トレーニングを実施しても筋力が高まらないといった悪影響が生じるといふ。近年、女性アスリートに対するサポートやコンディショニング研究が注目され、研究支援も活発になっているようである。その一方で、男性アスリートのコンディショニングおよび障害予防に関する研究、研究支援は未だ乏しい。今後、未開拓な領域が日の目を浴び、さらにトレーニング、栄養、休養などといった因子との関連性が一般化すれば、好記録が続出している日本陸上競技界の成長に拍車がかかるのではないだろうか。

最後に山中亮先生（新潟食料農業大学）が「男子ナショナル短距離選手を対象とした合宿時におけるコンディションサポート」という題目で講演された。合宿地である山梨県富士吉田市は、準高地（標高 1500m 程度）には該当しない標高 1000m 前後の場所であるが、これまで合宿中および合宿後にコンディションが悪くなる選手がいたことから、本サポートの実施に至ったという。サポートするにあたって、“標高 1000m の環境下におけるコンディションの把握”、“客観的なコンディションのフィードバック”という二つの目的、そして“トレーニングに生かしていただく”という一つの願いを胸にサポートを努めたと述べられた。コンディションに関する測定には、生理学的指標と主観的指標を用いており、血中酸素飽和度、心拍数、体温、尿比重においては一貫して大きな変化は認められなかった。ストレスマーカーと

しての唾液中 sIgA（2019 年のみ）ではトレーニングにより増加する傾向を示し、コルチゾール（2021 年のみ）は一貫して基準範囲内で変動を示した。しかし、選手の中には脱水および免疫の低下など、コンディションの悪化が認められる選手も確認されたという。また、主観的疲労度と客観的疲労度が一致していない選手の場合、更なる生理学的指標からコンディショニングを把握する必要があると述べられた。山中先生の講演を拝聴していて、サポートされる方々のアスリートに対する配慮が大変印象的だった。世界大会直前の合宿時にコンディショニングの測定ということで、選手にかかるストレスや負担は大きかったように思うが、選手とサポーターのご協力があって、日本陸上界やスポーツ科学の発展があるということ強く認識する貴重な機会となった。



V. おわりに

今年度の日本陸上競技学会は、未だ新型コロナウイルスが懸念されるなかでの、完全対面形式として開催された。完全対面学会として開催された背景には実行委員をはじめとする方々の多大なご準備があったように思う。また、当日の体調チェックや案内に加えて、配布資料の自粛、不織布マスクの着用・質問後のマイクの消毒等、コロナ禍ならではの多くの工夫がなされていた。第 21 回大会はコロナウイルスによって分断されたが、with コロナ禍における学会の在り方として、今後の良いロールモデルになるのではないだろうか。さて、来年度の第 22 回大会は、中京大学豊田キャンパスで開催される。日本陸上界の更なる発展のため、是非とも参加し続けたいと思う。本学会に参加した研究者が得た知見や経験をもとに、陸上競技の研究がさらに発展すること、それらの知見や示唆が活動現場に還元されることを期待して本稿を締めくくる。

〔日本陸上競技学会第21回大会〕

共催：公益社団法人日本学生陸上競技連合・関東学生陸上競技連盟

傍聴記（大会2日目）

中澤 翔（日本体育大学 体育学部）

I. はじめに

日本陸上競技学会第21回大会は2023年2月22-23日に、日本体育大学世田谷キャンパスにて開催された。本大会は、「陸上競技の強化と科学 温故知新」というテーマで、基調講演、一般研究発表、シンポジウム、キーノートレクチャーが実施された。本稿では、学会大会2日目における講演内容、大会の様子や所感について報告させていただく。

II. キーノートレクチャー

キーノートレクチャーは、「日本選手の世界一への挑戦に向けて～他競技から学ぶ～」というテーマのもと、結城匡啓先生（信州大学）が講演され、森丘保典先生（日本大学）が司会進行を務められた。講演では、小平奈緒さん（相澤病院、信州大学）を指導したこれまでの軌跡や2018年の平昌オリンピックにおける金メダル獲得までの取り組みについて詳細にお話いただいた。講演は、大会実行委員長の杉田正明先生からの依頼により、サイエンス半分、コーチング半分の内容で構成された。以下、特に印象に残った内容について報告する。

1つ目は、「外国人選手（オランダ人選手）と同じことをやっても勝てない」ということである。小平さんが2年間のオランダ留学（2014-2015年）で最初に感じたことは、「体力に差があるのではなく体格が違う」ということであり、これをどのように埋めていくか取り組んだという。また、オランダ留学中にフォームを修正したが、帰国後は「体格が違うのにオランダ人選手と同じフォームでは勝てない」という考えから、新たにヒップブロック理論を導入し、「自己流のフォームに改善し、狙っている動きにまとめていく（上半身の動きをいかに下半身に伝えていくか）」ことに取り組んだという。その結果、帰国して数ヶ月後から連勝記録¹⁾が始まり、平昌オリンピックでの金メダル獲得につながった。ピリオダイゼーション（非氷上期、氷上期）においても、日本人特有の体格や移動の問題があるため外国人選手とは異なるトレーニング計画であったという。また、オランダのトレーニングで学んだ点として、リカバリー（低強度トレーニング、Heart Rate 95-115bpm）の重要性を挙げており、高強度トレーニングが連続しないように計画されていたことから、帰国後のトレーニング計画の立案

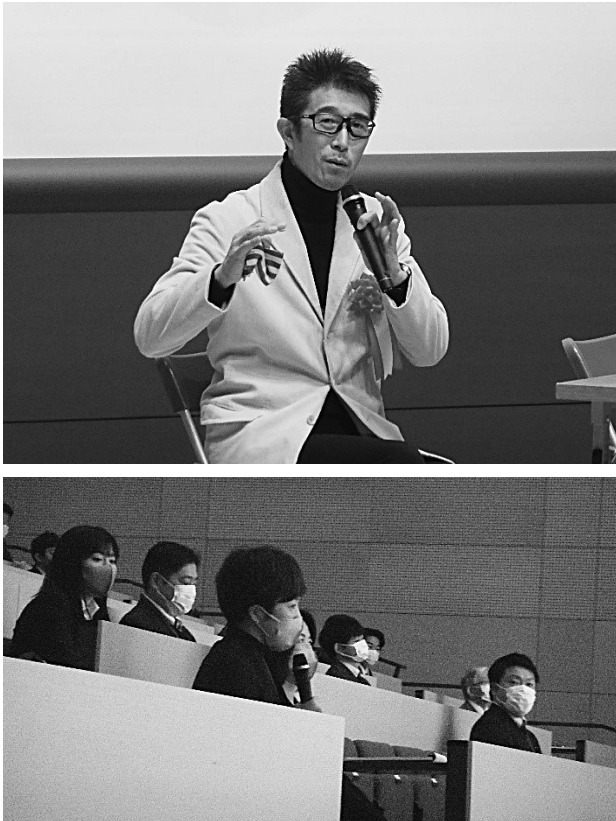
で参考にされていた。

以上のことから、世界で勝負するためには、様々な試行錯誤や身体特性を考慮してトレーニングを計画することが重要であると考えられる。例えば、近年、世界トップレベル選手のトレーニング内容が以前に比べて容易に把握できるようになった。しかし、そのトレーニング内容を鵜呑みにするのではなく、身体特性等を含めた選手の現状を考慮しながら、創意工夫してトレーニングを計画する必要があると感じた。

2つ目は、結城先生のコーチング理論についてである。結城先生のコーチングは科学をどのように選手たちに伝えていくのかということを重視されていた。体育・スポーツ人のオリジナルは？と考えた時に、「身体知」（暗黙知）の理論化であり、これを理論化しないとコーチングは成り立たないと話されていた。金子明友先生の言葉「コーチングとは“コツの大衆化”である」も引用され、選手が知らないことを知るようにするということがコーチングということを強く認識されていた。また、“スケート理論”勉強会を開催し、このような「学びを積み上げてきたこと」が小平さんも自身の強みであると考えていたようである。さらに、あるインタビューで、小平さんは結城先生について、「信じてはいるが、頼ってはいない」と語っており、とても良い関係性であった点についても言及された。

結城先生の講演を拝聴しながら、指導者として様々な取り組みを実践されていると感じた。私自身の今後の目指すべき指導者像について考える貴重な機会をいただいた。

最後に、森丘先生が司会を務められ、結城先生と会場の参加者との質疑応答がなされた。また、会場にいた小平さんも質疑に加わっていただき自身の経験や考えを話され活発な議論の場となっていた。その中で、シンポジウム2で登壇される福部真子選手が小平さんへ「重心移動の際に視線は意識していますか」と質問され、小平さんは「重心を移動するということを意識したことがない。それよりも良いポジションでシステムを繋げていく。視線に関しては、動きをまとめていく中で視線を定めるようにしている」と回答された。また、結城先生からは、「選手に同様の質問をされた場合には、体重を移動してはダメ、体重は移動されるもの」という補足もあった。



本大会では、他競技におけるサイエンスおよびコーチングについて学ぶことができ、大会参加者はとても充実している様子であった。

Ⅲ. シンポジウム 2

シンポジウム 2 は「100m ハードルの更なる発展に向けて」というテーマのもと、貴嶋孝太先生（大阪体育大学）、尾崎雄祐先生（広島大学）、福部真子選手（日本建設工業）が登壇された。

はじめに、貴嶋先生が「国内女子 100m ハードルの記録向上とレースパフォーマンス分析結果について」という題目で講演された。近年、女子 100m ハードルの記録が向上しており、日本記録も更新されている。そのような 100m ハードルのレース分析の手法や今までの分析結果についての説明がなされた。また、福部選手の 2018 年から 2022 年における 100m ハードルの 5 レース（12 秒 82-13 秒 56 の範囲）を分析した結果、①記録が良いレースではレース全体を通して走速度が高い、②年タインターバルランタイムを短縮したことが走速度を高めた大きな要因であることが報告された。さらに、先行研究のデータと比較し、今後の福部選手の競技記録向上に向けた指針として、レース前半から高い走速度を発揮すること、インターバルランタイムおよびハードリングタイムのどちらも高める必要があることが示唆された。上述したレース分析の即時フィードバックは、トレーニング計画やレース戦略を検討する上で重要であり、このような大会でのサポートが競技力向上につながっていると認識

でき、とても貴重な機会となった。

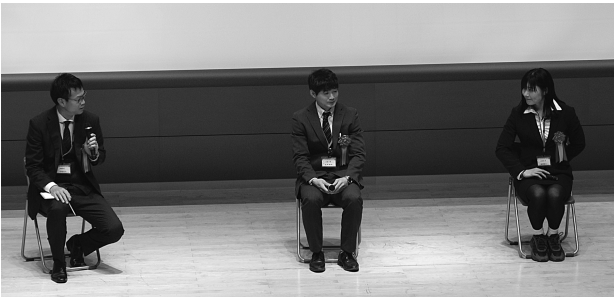
次に、尾崎先生が「女子 100m ハードル日本記録達成までの歩みとパリ五輪へ向けた取り組み」という題目で講演された。現在、尾崎先生が指導されている 100m ハードル日本記録保持者の福部選手も登壇され、選手の視点からトレーニング等に関する見解についてお話しいただいた。講演内容は、①これまでの経緯と当初の取り組み、② 2022 年シーズンへ向けた取り組み、③パリオリンピックへ向けた取り組み、④女子 100m ハードルの発展へ向けた示唆の 4 つで構成されていた。以下、特に印象に残った内容について報告する。

1 つ目は、尾崎先生のコーチング理論である。尾崎先生が作成していたトレーニング計画の全体像（トレーニングの流れ）が緻密に計画されており、福部選手もトレーニング計画をイメージしながらトレーニングに臨んでいた。また、尾崎先生がトレーニングを進める上で意識したこととして、①評価しやすいトレーニング内容、②食事&睡眠とその日の調子との関連を意識させる、③イメージを共有する（共有できない時は資料の作成）、④他のトレーニング関係者との連携、統括役を挙げていた。特に、イメージを共有する際の資料では、選手が分かりやすいように作成されていた。

さらに、2022 年度の日本陸上競技選手権大会の直前に、トレーニング負荷を高めたためアクシデントが発生した経験について紹介いただいた。競泳の Bob Bowman コーチの言葉「計画の失敗＝失敗することを計画している」も引用され、テーパリング期間において、強度は一貫して維持されなければならないと話されていた。陸上競技の指導現場に寄与する貴重な意見を聞くことができた。

2 つ目は、形態的変化の話である。尾崎先生は、筋を効率よく増やせる状態を作ること、「体重の微増状態」を作ること意識されており、「体重が増える＝悪ではない」、「増えても速ければ良い」と福部選手に諭し続けていたようである。この点については、福部選手も「最初は、体重増加に抵抗はあったが、ウエイトトレーニングの重量も増え、走りやすくなったため、体重増加に対する抵抗がなくなった」と話されていた。女子陸上競技選手に減量を求める指導者は多いが、本講演における福部選手の事例は、女子陸上競技選手の指導における新たな指針となるだろう。

最後に、貴嶋先生がコーディネーターを務められ、登壇された先生方と会場の参加者との質疑応答がなされた。その中で、尾崎先生へ「レース分析のフィードバックで新たに必要なデータはありますか」という質問があり、尾崎先生は、「ハードルの踏切距離や着地距離がレースごとに分かるとレース中の変化を把握でき、コーチングのヒントになる」と回答された。この点については、今後の科学サポートの手掛かりになると考えられる。



IV. 閉会

今年度の学会賞は、渡邊將司先生（茨城大学）「中学・高校における混成競技の因子構造とパフォーマンス分析」、本大会の最優秀発表賞は、黒崎渥矢先生（日本体育大学大学院）「10000m レースにおける男子長距離走者の走動作タイプについて」であることが発表された。なお、両先生の受賞コメントは、日本陸上競技学会のHPに掲載されているためご一読いただきたい。

最後に、日本陸上競技学会副会長の阿江通良先生（日本体育大学）より閉会挨拶をいただいた。阿江先生から

は、本大会では一般研究発表の領域が幅広かったこと、大会テーマが「温故知新」ということもあり、歴史を知ることは研究や人生に厚み・深みを与えたと話しいただいた。また、今後の課題として、子どもやできない人を対象とした研究をすることで教育にも活かすことができると話された。

V. おわりに

来年度の第22回大会は、中京大学豊田キャンパスで開催される。来年度は、阿江先生から課題として挙げられた、「子どもやできない人を対象にした研究発表」についても期待したい。さらに、本大会で明らかとなった知見が指導現場に還元されることによって、陸上競技の発展・普及につながることに期待し、本稿を締めくくる。

注

- 1) 500m において、2016 年 10 月から 2019 年 2 月までの 2 シーズン以上にわたり国内外で 37 連勝を記録した。



〔日本陸上競技学会第21回大会〕

共催：公益社団法人日本学生陸上競技連合・関東学生陸上競技連盟

テーマ：「陸上競技の強化と科学 温故知新」

開会挨拶

会長 尾縣 貢（筑波大学）
大会実行委員長 杉田正明（日本体育大学）
日本体育大学副学長 水野増彦（日本体育大学）

基調講演

登壇者：小林 寛道（東京大学 名誉教授・静岡産業大学）
「陸上競技の科学研究・医科学サポートのこれまでと今後に向けて～1988年から2004年までの活動を踏まえて～」

阿江 通良（日本体育大学）
「陸上競技のバイオメカニクスとサポートのこれまでと今後への期待：1991年ごろから」

司会者：杉田 正明（日本体育大学）

一般研究発表（ポスター発表）

シンポジウム1

シンポジスト：

須永 美歌子（日本体育大学）
「ライフステージを見据えた女性アスリートのコンディショニング」
鳥居 俊（早稲田大学）
「テストステロン値からみた長距離選手のオーバートレーニング、コンディションのサポート」
山中 亮（新潟食料農業大学）
「男子ナショナル短距離選手を対象とした合宿時におけるコンディションサポート」

《司会プロフィール》

杉田 正明（すぎた まさあき）

1966年生まれ

所属：日本体育大学体育学部 教授、ハイパフォーマンスセンター長

学位：博士（学術）

研究分野：運動生理学、トレーニング科学、コーチング学

研究テーマ：

競技スポーツのパフォーマンス向上に関するスポーツ科学研究

主な社会的活動：

JOC 情報・医・科学専門部会副会長、同・情報・科学サポート部門長、JSC ハイパフォーマンススポーツセンターアドバイザー、日本陸上競技連盟科学委員長など

コーディネーター：

桜井 智野風（桐蔭横浜大学）

キーノートレクチャー

登壇者：結城 匡啓（信州大学）

小平 奈緒（相澤病院、信州大学）

「日本選手の世界一への挑戦に向けて ～他競技から学ぶ～」

司会者：森丘 保典（日本大学）

シンポジウム2

登壇者：貴嶋 孝太（大阪体育大学）

「国内女子 100m ハードルの記録向上とレースパフォーマンス分析結果について」

尾崎 雄祐（広島大学）

福部 真子（日本建設工業）

「女子 100m ハードル日本記録達成までの歩みとパリ五輪へ向けた取り組み」

コーディネーター：

貴嶋 孝太（大阪体育大学）

閉会

閉会挨拶：阿江 通良（日本体育大学）

《コーディネータープロフィール》

桜井 智野風（さくらい とものぶ）

1966年生まれ

所属：桐蔭横浜大学大学院スポーツ科学研究科 教授

学位：博士（運動生理学）

研究分野：運動生理・生化学、トレーニング科学

研究テーマ：

骨格筋損傷とリカバリー、水素と筋活動エネルギー、高酸素が身体活動に及ぼす影響

主な著書：「陸上競技コーチングブック」（編者）大修館書店、2022

「走りのサイエンス」（単著）エイ出版社、2015 など

主な社会的活動：

日本陸上競技連盟 指導者養成委員会 ディレクター

日本陸上競技学会理事 など

主な指導歴：

日本陸上競技連盟 混成競技強化委員

日本オリンピック委員会強化スタッフコーチ

《シンポジストプロフィール》

須永 美歌子（すなが みかこ）

1974年生まれ

所 属：日本体育大学児童スポーツ教育学部 教授

学 位：博士（医学）

研究分野：運動生理学、トレーニング科学

研究テーマ：

月経周期を考慮したコンディショニング法の開発

主な著書・論文：

1 から学ぶスポーツ生理学第3版，有限会社ナップ，2022年

女性アスリートの教科書，株式会社主婦の友社，2018年

Influence of the Menstrual Cycle on Muscle Glycogen Repletion After Exhaustive Exercise in Eumenorrheic Women. J Strength Cond Res. 2022

Influence of Menstrual Cycle on Leukocyte Response Following Exercise-Induced Muscle Damage. Int J Environ Res Public Health. 2022

The Effect of Co-Ingestion of Carbohydrate with Milk after Exercise in Healthy Women: Study Considering the Menstrual Cycle. J Sports Sci Med. 2022

Influence of menstrual cycle on muscle glycogen utilization during high-intensity intermittent exercise until exhaustion in healthy women. Appl Physiol Nutr Metab. 2022

Effect of Green Tea Extract Ingestion on Fat Oxidation during Exercise in the Menstrual Cycle: A Pilot Study. Nutrients. 2022

The Influence of Low Energy Availability on Bone Mineral Density and Trabecular Bone Microarchitecture of Pubescent Female Athletes: A Preliminary Study. Int J Environ Res Public Health. 2022

Effects of menstrual cycle on appetite-regulating hormones and energy intake in response to cycling exercise in physically active women. J Appl Physiol. 2022

The ALDH2 rs671 polymorphism is associated with athletic status and muscle strength in a Japanese population. Biol Sport. 2022

Effects of the Menstrual Cycle on Serum Carnitine and Endurance Performance of Women. Int J Sports Med. 2020

主な社会的活動：

日本体力医学会（理事）、日本トレーニング科学会（会長）、日本運動生理学会（評議員）、日本スポーツ栄養学会（評議員）、女性スポーツ医学研究会（理事）、日本陸上競技連盟科学委員会委員、日本オリンピック委員会強化スタッフなど

《シンポジストプロフィール》

鳥居 俊（とりい すぐる）

1958年生まれ

所 属：早稲田大学スポーツ科学学術院 教授

学 位：博士（スポーツ科学）

研究分野：スポーツ医学、スポーツ選手の健康管理、発育発達学

研究テーマ：スポーツ・身体活動が心身の健康に与える影響

主な著書・論文：

ライフスタイルと健康（分担；医学書院）

スポーツ外傷と障害（分担執筆；文光堂）

トレーニング科学ハンドブック（分担執筆；朝倉書店）

スポーツ医学 - 基礎と臨床（分担執筆；朝倉書店）

学校におけるスポーツ医学（分担執筆；文光堂）

ランニング障害（分担執筆；文光堂）

フィーメールアスリートバイブル（監修・分担執筆；NAP）

現場で役立つスポーツ損傷ガイド（監訳；NAP）

エビデンスに基づくインジャリケア（監訳；NAP）

スポーツ現場での脳振盪（監訳；NAP）

基礎から学ぶスポーツ障害（ベースボールマガジン社）

ランニング解剖学（監訳；ベースボールマガジン社）

百寿時代の運動・スポーツのトリセツ（監修・分担；NAP）

主な社会的活動：

日本スポーツ協会公認スポーツドクター

日本オリンピック委員会医科学スタッフ（陸上競技）

日本陸上競技連盟医事委員会委員

日本臨床スポーツ医学会理事、日本体力医学会評議員、日本成長学会理事

サポート歴：

2021年 東京オリパラ日本陸上競技選手団帯同ドクター（札幌担当）

2017年 世界陸上ロンドン大会日本選手団帯同ドクター

2016年 リオデジャネイロ五輪日本陸上競技選手団帯同ドクター

2015年 世界陸上北京大会日本選手団帯同ドクター

2014年 仁川アジア大会日本陸上競技選手団帯同ドクター

2013年 世界陸上モスクワ大会日本選手団帯同ドクター

2010年 広州アジア大会日本選手団帯同ドクター

2007年 世界陸上大阪大会医事スタッフ

1992年 バルセロナ五輪科学スタッフ

1991年 世界陸上東京大会医事スタッフ

1990年 北京アジア大会日本選手団本部ドクター

《シンポジストプロフィール》

山中 亮（やまなか りょう）

1985 年生まれ

所 属：新潟食料農業大学食料産業学部 准教授

学 位：博士（教育学）

研究分野：トレーニング科学

主な著書・論文：

5 日間の低酸素トレーニングが日本トップレベル女子 400m 走者の無酸素性及び有酸素性能力に及ぼす影響, J High Perform Sport, 8: 19-34, 2021

Effect of resistance training of psoas major in combination with regular running training on a performance of long-distance runners, 16: 906-909, 2021

Effect of manipulation of fatigue sense on ventilatory response during recovery after intense exercise, Gazzetta Medica Italiana, 181: 160-166, 2020

Sprinting ability as an important indicator of performance in elite long-distance runners, International Journal of Sport Physiology and Performance, 15: 141-145, 2020

日本人トップレベル長距離走者に求められる有酸素性能力とスプリント力, トレーニング科学, 29: 305-308, 2018

高校トップレベル男子長距離走者のパフォーマンスと大腰筋の筋横断面積および最高酸素摂取量の関係, 体力科学, 65: 307-313, 2016

「スポーツと疲労」分担, 新・スポーツ生理学, 村岡功編, 市村出版, 176-184, 2015

主な社会的活動：

日本陸連科学委員会委員（2017 年～現在）
日本オリンピック委員会強化スタッフ（医・科学）（2022 年～現在）

JSC ハイパフォーマンスサポート事業外部スタッフ（2018 年～現在）

主な指導歴：

新潟食料農業大学陸上競技部監督
2022 年 U20 日本陸上競技選手権大会 男子 100m 走 5 位（水崎 翔）

サポート歴：

2022 年オレゴン世界陸上直前合宿（女子 4 × 100m リレー代表選手）
2021 年東京オリンピック直前合宿（男子 4 × 100m リレー代表選手）
2019 年ドーハ世界選手権
2019 年ドーハアジア選手権
2018 年タンペレ U20 世界選手権
2018 年ジャカルタアジア大会

《登壇者プロフィール》

結城 匡啓（ゆうき まさひろ）

1965 年生まれ

所 属：信州大学学術研究院 教授（教育学系）

学 位：博士（体育科学）

専門分野：スポーツバイオメカニクス, コーチング論, トレーニング論

主な著書・論文：

科学的コーチング実践を目指して～スピードスケート金メダリスト・小平奈緒選手へのコーチングを通して～, Strength&Conditioning Journal, 26(10):2-10, 2019

スポーツ動作を科学する スピードスケートのバイオメカニクス, 体育の科学, vol.63, No.2, 2013

私の考えるコーチング論：科学的コーチング実践をめざして, コーチング研究, vol.25, No.1, 2011

スラップスケートの利点と長野オリンピックに向けた日本チームの取り組み, バイオメカニズム学会誌, 24(2):76-81, 2000

長野オリンピックのメダル獲得に向けたバイオメカニクスのサポート活動—日本スピードスケートチームのスラップスケート対策—, 体育学研究, 44:33-41, 1999

スピードスケートの直線ストロークにおける加速の力学的メカニズム, 身体運動のバイオメカニクス, 211-217, 1997

Re-examination of acceleration theory during push-off phase in speed skating, International Biomechanics, pp.158-160, 1991

主な社会的活動：

公益財団法人日本スケート連盟 スピードスケート・ナショナルコーチ
公益財団法人日本オリンピック委員会情報・医・科学専門部会委員
日本バイオメカニクス学会 理事
氷上スポーツ学会 理事

主な競技歴：

1992 年スピードスケートワールドカップ 500m3 位入賞（2 回）

主な指導歴：

1998 年長野冬季オリンピック日本代表（短距離担当）コーチ
2002 年ソルトレイク冬季オリンピック日本代表（清水宏保担当）コーチ
2010 年バンクーバー冬季オリンピック日本代表（小平奈緒・女子チームバシュート担当）コーチ
2014 年ソチ冬季オリンピック日本代表（小平奈緒・山中大地担当）コーチ
2018 年ピョンチャン冬季オリンピック日本代表（小平奈緒・山中大地担当）コーチ
2022 年北京冬季オリンピック日本代表（小平奈緒・小島良太担当）コーチ

主な受賞歴：

H8.11 第 13 回日本バイオメカニクス学会奨励賞
H11.6 第 2 回秩父宮スポーツ医科学奨励賞
H12.7 文部大臣スポーツ功労者顕彰
H13.10 文部科学大臣スポーツ功労者顕彰
H14.4 文部科学大臣スポーツ功労者顕彰
H15.3 文部科学大臣スポーツ功労者顕彰
H16.10 第 9 回信毎選賞
H21.6 文部科学大臣国際競技大会優秀者等表彰
H22.5 文部科学大臣スポーツ功労者顕彰
H27.7 文部科学大臣国際競技大会優秀者等表彰
H29.7 文部科学大臣スポーツ功労者顕彰
H30.4 ミズノ財団スポーツメントール賞
ゴールド
H30.6 ヨネックス財団米山稔賞
H30.7 文部科学大臣スポーツ功労者顕彰
R1.7 文部科学大臣スポーツ功労者顕彰
R2.7 文部科学大臣スポーツ功労者顕彰

《指定発言者プロフィール》

小平 奈緒（こだいら なお）

1986年生まれ

所 属：社会医療法人財団 慈泉会 相澤病院／信州大学 特任教授

学 位：学士（教育学）

主な競技歴等：

長野県出身。茅野市立北部中学校、伊那西高等学校、信州大学教育学部卒業。

3歳からスケートを始める。

2001年（中学2年生）500mの中学記録を更新し、全日本ジュニア（スプリント部門）で史上初の中学生王者になる。

2005年（高校3年生）インターハイ 500m、1000m 優勝

2006年（大学2年生）全日本スピードスケート距離別選手権大会 1000m 優勝

2008年（大学4年生）全日本スピードスケート距離別選手権大会 1500m 優勝

2009年 全日本距離別選手権大会 500 m、1000 m、1500m 優勝

2010年 パンクーパーオリンピック 1000m、1500m5位入賞、団体パシュート銀メダル獲得

2014年 ソチオリンピック 500m5位入賞、1000m13位

2014/15年シーズン ワールドカップ 500m 総合優勝

2017年 世界距離別選手権 500m 優勝、1000m 銀メダル

世界スプリント選手権 総合優勝（4種目総合ポイント世界記録）

2016/17シーズン ワールドカップ 500m 総合優勝

2018年 平昌オリンピック 500m 金メダル、1000m 銀メダル、1500m 6位入賞

2019年 世界距離別選手権 500m 銀メダル、1000m 銅メダル

※本大会まで500mで2016年から国内外37連勝を達成。

世界スプリントスピードスケート選手権大会 総合優勝（2回目）

2020年 世界距離別スピードスケート選手権大会 500m 金メダル

世界スプリントスピードスケート選手権大会 総合2位

2022年 北京オリンピック 500m17位、1000m10位

全日本距離別選手権 500m 優勝をもって現役引退（ワールドカップは通算34勝）

主な受賞歴：

2010年 文部科学大臣スポーツ顕彰

2014年 JOC スポーツ賞特別功労賞

2016年 JOC スポーツ賞優秀賞

2017年 文部科学大臣スポーツ顕彰

2018年 JOC スポーツ賞最優秀賞

2018年 紫綬褒章

2018年 文部科学大臣スポーツ顕彰

2018年 テレビ朝日ビッグスポーツ賞ビッグスポーツ賞

2018年 国際ソロプチミスト ドリーム賞受賞

2019年 テレビ朝日ビッグスポーツ賞ビッグスポーツ特別賞

2019年 文部科学大臣スポーツ顕彰

《司会プロフィール》

森丘 保典（もりおか やすのり）

1969 年生まれ

所 属：日本大学スポーツ科学部 教授

学 位：修士（体育学）

研究分野：コーチング学，トレーニング科学

研究テーマ：

競技パフォーマンス向上に関するスポーツ
科学的研究

主な著書・論文：

陸上競技コーチングブック（大修館書店，
2022）

陸上競技のコーチング学（大修館書店，
2020）

スプリント学ハンドブック（西村出版，
2018）

コーチング学への招待（大修館書店，2017）

身体運動のバイオメカニクス研究法（大修館
書店，2008）

乳酸をどう活かすか（杏林書院，2008）

競技力向上のトレーニング戦略（大修館書
店，2006）

コーチングマニュアル（陸上競技社，2004）

陸上競技コーチング学の体系化に向けた実
践研究のあり方について一根據に基づく実
践の最適化を目指して一 陸上競技研究紀
要，17：43-50，2020.

陸上競技・中距離選手のトレーニング負荷
の変化がパフォーマンスおよび生理学的指
標に及ぼす影響について一走行距離と強度
に注目して一，コーチング学研究，24：153-
162，2011.

陸上競技 400m ハードル走における一流男子
選手のレースパターン分析. バイオメカニク
ス研究，9：196-204，2005.

間欠的漸増負荷走行中の血中乳酸動態から
推定されるパワーと中距離走能力との関係，
体力科学，52：285-294，2003. など

主な社会的活動：

日本スポーツ協会国体委員会委員

日本オリンピック委員会強化（コーチング）
スタッフ

日本陸上競技連盟科学委員会副委員長およ
び指導者養成委員会政策・プランニングディ
レクター

日本アンチ・ドーピング規律パネル委員

日本コーチング学会理事

日本陸上競技学会理事

日本スプリント学会理事 など

《コーディネーター・シンポジストプロフィール》

貴嶋 孝太（きじま こうた）

1981 年生まれ

所 属：大阪体育大学体育学部 准教授

学 位：修士（スポーツ科学）

主な競技歴：110mH

研究分野：スポーツバイオメカニクス，コーチング，ト
レーニング

研究テーマ：

短距離走やハードル走，車いす漕動作などの
動作解析

主な著書・論文：

Lower complexity of motor primitives
ensures robust control of high-speed
human locomotion. Heliyon, 6(10) e05377,
2020.

高校生エリート陸上選手におけるサブリ
メント使用状況. 日本陸上競技連盟紀要.
15:81-93, 2020.

一流 110 m ハードル走選手のレースパター
ンと競技パフォーマンスの関係：レース局
面に基づく検討. 体育学研究. 64 (2) 475-
485, 2019.

陸上競技短距離選手におけるハムストリン
グス各筋内の筋横断面積の形態分布の特徴
と競技力との関係. 体力科学. 67 (6) 383-
391, 2018.

短距離走選手のための機能的なトレーニ
ングエクササイズ. 大阪体育学研究. 56:77-
88, 2018.

国内女子ジュニア短距離選手の疾走技術検
討のための事例的研究. トレーニング科学.
29 (3) 237-246, 2018. など

主な社会的活動：

日本オリンピック委員会 強化スタッフ
(2014～現在)

日本陸上競技連盟強化委員会 コーディ
ネーター (2014～現在)

関西学生陸上競技連盟 強化委員会委員
(2014～現在)

日本陸上競技連盟科学委員会 委員 (2015
～現在)

所属学会：

European College of Sport Science, 日本
陸上競技学会, 日本体育・スポーツ・健康学
会, 大阪体育学会 (理事), 日本バイオメカ
ニクス学会, 日本トレーニング科学会, 日本
コーチング学会, 日本ゴルフ学会, 近畿ゴル
フ学会

主な指導歴：

大阪体育大学陸上競技部コーチ (2014～現
在)

Taiwan athletics open (2016, 2018) チー
ムスタッフ

2019 Macau Asian Cities Athletics
Invitational 女子 100m, 女子 4 × 100m リ
レー

2022 オレゴン世界陸上競技選手権大会 混
合 4 × 400m リレー代表

《シンポジストプロフィール》

尾崎 雄祐（おざき ゆうすけ）

1994年生まれ

所属：広島大学大学院人間社会科学研究科 助教

学位：博士（教育学）

主な競技歴：

2022年全日本実業団 400mH3位、2022年栃
木国体 400mH5位

研究分野：

コーチング学、スポーツバイオメカニクス、
コンディショニング、保健体育科教育学に関
する研究

主な著書・論文：

Do Different Hurdle Heights Alter
Important Spatiotemporal Variables in
Hurdle Clearance?. Front. Sports Act.
Living, 2022.

Spatiotemporal factors affecting a
single hurdle clearance technique: is
“faster” the same as “increased technique
efficiency”?. Int. J. Perform. Anal. Sport,
2021.

Regulation of stride length during the
approach run in the 400-m hurdles, J.
Hum. Kinet., 2019.

全国高校総体から国民体育大会における
400mハードル走の記録向上によるレースパ
ターンの変化, コーチング学研究, 日本コー
チング学会, Vol.32 No.1 pp.89-98, 2018.

400mハードル選手のトレーニングに関する
事例研究：10年間に亘るレースパターン
の変遷とレースパターン分析を用いたトレ
ーニング実践から, スポーツパフォーマンス研
究, 12巻, pp. 495-522, 2020.

主な指導歴：

広島大学陸上競技部コーチ（2021年4月～）
日本建設工業 AC 福部真子コーチ（2021年7
月～）

PEACE AC コーチ（2021年4月～）

ダイソー女子駅伝部池崎愛里コーチ（2022
年3月～）

《シンポジストプロフィール》

福部 真子（ふくべ まこ）

1995年生まれ

所属先：日本建設工業

主な競技歴：

広島県出身。府中小学校⇒府中中学校⇒広島
皆実高校⇒日本体育大学体育学部卒業。

4歳から12歳まで水泳、小学5年生から陸
上も始める

小学5年生 100 m全国小学生大会出場

小学6年生 100 m全国小学生大会出場

中学1年生 100 mH JO優勝

中学2年生 全中4種 3位 JO 3位

中学3年生 全中4種 優勝 JO優勝

高校1～3 100 mH インハイ3連覇 日
中韓出場

高校1・3年 100 mH 国体優勝

高校2年 100 mH世界ジュニア出場 100
mH国体優勝

高校時代自己ベスト記録：13秒57

大学1年 関東インカレ 100 mH 3位

全日本インカレ 100 mH 4位

アジアジュニア 100 mH 優勝

大学2年 関東インカレ 100 mH 2位

全日本インカレ 100 mH 3位

大学3年 関東インカレ 100 mH 2位

400 mH 優勝

全日本インカレ 100 mH 3位

大学4年 関東インカレ 100 mH 優勝

4 × 400 mR 優勝

全日本インカレ 100 mH 2位

日本選手権 100 mH 4位

大学時代自己ベスト記録：13秒37

社会人1年目 日本選手権 100 mH 7位

全日本実業団 100 mH 2位

社会人2年目 日本選手権 100 mH 6位

全日本実業団 100 mH 優勝

社会人5年目 日本選手権 100 mH 優勝

オレゴン世界陸上 100 mH 準決勝進出

(12秒82 日本新記録)

全日本実業団 100 mH 優勝

(12秒73 日本記録更新)

日本陸上競技学会会則

平成14年10月26日制定

平成16年8月8日改正

平成20年8月31日改正

第1章 総則

- 第1条** 本会を日本陸上競技学会と称する。
(英文名: Japan Society of Athletics).
- 第2条** 本会は、陸上競技に関する理論的・実践的研究の発展をはかり、会員相互の交流を促し、これによって実践に資することを目的とする。

第2章 事業

- 第3条** 本会は、第2条の目的を達成するために、次の事業を行う。
- (1) 学会大会の開催
 - (2) 学会誌「陸上競技学会誌」(英文名: Japan Journal of Studies in Athletics) 及び会員名簿の刊行
 - (3) 研究会、講演会、講習会の開催
 - (4) 研究の国際的交流
 - (5) その他本会の目的に資する事業
- 第4条** 学会大会は、毎年1回以上開催する。

第3章 会員

- 第5条** 会員の種別は次の通りとする。
- (1) 正会員: 陸上競技、あるいはこれに関連する諸科学の研究者、指導者で正会員が推薦し、理事会で承認された者
 - (2) 名誉会員: 本会に多大な貢献のあった個人で、理事会が推薦し、総会で承認された者
 - (3) 賛助会員: 本会の目的に賛同する個人あるいは団体で、理事会で承認を受けた者
- 第6条** 会員は会費を納入しなければならない。
- (1) 正会員: 年額 5,000 円
 - (2) 名誉会員: 徴収しない
 - (3) 賛助会員: 年額 10 万円以上
- 第7条** 会に入会を希望するものは、所定の手続きを経て、入会申込書、会費を添えて本会事務局に申し込むものとする。
- 第8条** 会員は、本会の学会誌「陸上競技学会誌」その他研究情報に関する刊行物の配布を受けることができる。
- 第9条** 原則として2年間会費を滞納したものは退会したものとみなす。なお退会に際しては、滞納分の会費を支払うものとする。

第4章 役員

- 第10条** 本会に次の役員をおく。
- | | |
|-----|------|
| 会 長 | 1 名 |
| 副会長 | 若干名 |
| 理事長 | 1 名 |
| 理 事 | 15 名 |
| 監 事 | 2 名 |

- 第11条** 役員は次の各項により選任される。
- (1) 会長、副会長、理事長は理事の互選により選出し、総会において決定する。
 - (2) 理事は正会員の投票により決定する。
 - (3) 理事につきさらに若干名は会長が推薦することができる。
 - (4) 監事は会長が委嘱する。
- 第12条** 役員の職務は次の通りとする。
- (1) 会長は本会を代表し、会務を総括する。
 - (2) 副会長は、会長を補佐し、会長事故ある時はこれを代行する。
 - (3) 理事長は理事会を招集し、会務を統括する。
 - (4) 理事は理事会を構成し、会務を処理して本会運営の任にあたる。
 - (5) 監事は本会の会務を監査する。
- 第13条** 役員の任期は次の通りである。
- (1) 会長・副会長・理事長・理事・監事は1期3年とし、再任を妨げない。

第5章 会議

- 第14条** 本会の会議は、総会及び理事会とする。
- 第15条** 総会は本会の最高議決機関であり、会長が招集し、次の事項を審議決定する。
- (1) 役員の選定
 - (2) 事業報告及び収支決算
 - (3) 事業計画及び収支予算
 - (4) 会則及び諸規定の改正
 - (5) その他の重要事項
- 第16条** 理事会は、理事長が招集し、会務を処理し、本会運営の任にあたる。
- (1) 会長及び副会長の推薦
 - (2) 総会に対する提案事項の審議
 - (3) 総会から委任された事項の審議・処理
 - (4) 運営の効率化を図るために専門委員会を置くことができる。
 - (5) その他本会の目的に資する事業の運営

第6章 会計

- 第17条** 本会の経費は次の収入による。
- (1) 会員の会費
 - (2) 事業収入
 - (3) 助成金及び寄付金
- 第18条** 本会の会計年度は毎年4月より翌年3月までとする。

第7章 顧問

- 第19条** 本会に顧問及び参与をおくことができる。

第8章 付則

- 第20条** 事務局は当分の間、順天堂大学に置く。
- 第21条** 本会則は平成20年8月31日より施行する。

陸上競技学会誌 投稿規程

〈投稿資格〉

- ・本誌に投稿できるのは、原則として日本陸上競技学会会員とする。
- ・大学院生の投稿に際しては、投稿の前後いずれかにおいて本学会での発表を原則とする。
- ・編集委員会が認めた場合には、会員以外へ投稿を依頼する場合がある。

〈著作権〉

- ・会員の権利保護のため、掲載された原稿の著作権は本会に属するものとする。
- ・投稿論文において他者の著作権に帰属する資料等を引用するときは、著者がその許可申請手続きを行う。

〈原稿の送付〉

- ・原稿は付則に記された日本陸上競技学会編集委員会事務局宛に電子メールに原稿ファイルを添付して投稿する。受諾決定後には電子メールにて完成原稿電子媒体を提出する。

〈原稿の種類と内容〉

- ・原稿の内容は、陸上競技の理論と実践に関するものとする。
- ・本会誌の読者は陸上競技に関する広い分野にわたるので、高度な専門的知識のない読者にも理解できるよう配慮する。
- ・原稿の種類は、「原著論文」、「事例報告（ケース・レポート）」、「研究資料」、「解説」、「陸上競技 Round-up」、「キーノートレクチャー」、「その他」とし、それぞれ以下のようなものである。

- ①「総説」陸上競技およびこれに関連する分野に関する先行研究を集め、体系立ててまとめ、その分野の概説や研究動向、今後の展望を示した論文。
- ②「原著論文」
陸上競技およびこれに関連する分野の学術上および指導・実践上価値のある新しい研究成果を記述した原著論文。
- ③「事例報告（ケース・レポート）」
陸上競技の実践において、現場で実際に行った事実（コーチングやトレーニングの活動）を事例として正確に記述し報告したレポートであり、指導者や選手の活動実践に直接役立つもの。
- ④「研究資料」
陸上競技に関連する理論的、実践的、事例的な問題について、原著論文としての体裁になるほどまとまっていないが、新規性があり早く発表する価値のある論文。または、コーチング実践への示唆の無い基礎的な研究論文。
- ⑤「解説」
陸上競技に関連する新知見、他の競技種目やトレーニング法など、多数の学会員にとって未知であり、これ

を知らせることの意義のある記事、論文紹介や指導法の提示などもこれに含まれる。

⑥「陸上競技 Round-up」

陸上競技に関連する国内外の情報、学会員相互の問題提起や話題の提供、対談など。

⑦「キーノートレクチャー」

陸上競技の指導者、選手として身につけておきたいスポーツ科学における各専門領域に知見を分かりやすくまとめた依頼原稿。

⑧「その他」

学会大会における研究発表抄録、学会および学会誌の運営や内容などに関する自由な意見、希望など。

〈倫理規定〉

- ・ヒトを対象とする医学的・生物学的研究はヘルシンキ宣言の趣旨に則り、また、動物実験は各所属機関の規定に従い、適切に対応する。

〈掲載の採否〉

- ・原稿の掲載の採否は、本会誌編集委員会が決定する。
- ・原稿の選択、校正、追加・短縮、掲載順序などは、編集委員会が決定する。
- ・著者に承認を求めた上で、原稿の種類を変更する場合がある。

〈著作権〉

本誌に掲載された論文の著作権の一切（著作権法第27条及び第28条の権利を含む）は、本学会誌に帰属又は譲渡されるものとする。ただし、論文の内容に関する責任は当該論文の著者が負う。

〈利益相反について〉

筆頭著者は当該論文にかかる著者全員の COI 状態に関して、所定の書式（様式1）にて論文投稿時に自己申告し、記載内容について責任を負う。

〈その他〉

- ・原稿執筆にあたっては、「執筆要項」にしたがって作成する。
- ・投稿についての問い合わせは、付則に記した問い合わせ先まで連絡する。

〈付則〉

原稿の送付先、問い合わせ先は、下記の通りである。

〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立101
中京大学
スポーツ科学部 競技スポーツ科学科
眞鍋芳明
TEL: 0565-46-1211（代表）
E-mail: manabe@sass.chukyo-u.ac.jp

1. 原稿の作成

原稿はワードプロセッサで作成するものとし、A4版縦置き横書きとし、全角40字30行（英文綴りおよび数値は半角）で、上下左右に約3cmの余白をとり、フォントは10.5ポイントとする。本文は現代かなづかいとし、外国語をかな書きする場合は、カタカナで表記すること。本文および文献表にはページ下部中央に通し番号をつけること。また、審査員が要修正事項や照会事項を指摘しやすくし、また著者が修正対応表（回答コメント）で修正・対応箇所を明示するために、本文および文献表の左側に行番号（ページごとに振り直し）を付加すること。

原稿の長さは、刷り上がり8ページを超過しないように配慮すること。原稿2枚が刷り上がり約1ページに相当する。なお、このページ数には、表紙や要旨、図表など一切含むものとする。

また、原稿ファイルはファイル展開の不具合を防ぐために下記の拡張子を持つファイル形式とする。

- （1）表紙、要旨、英文抄録、本文、文献：doc, docx および pdf
 - （2）図表：ppt, pptx, xls, xlsx, jpg, tiff, gif および pdf
- いずれも原稿ファイルと pdf 形式のファイルの2種類を送付すること。

2. 原稿の構成

2.1 表紙

原稿の1枚目に、下記のものを記入する。

- ①原稿の種類（原著論文、事例報告（ケース・レポート）、研究資料、解説、陸上競技 Round-up、キーノートレクチャー、その他）
- ②題目
- ③著者名
- ④所属機関
- ⑤所在地
- ⑥連絡先電話番号（および E-mail）
- ⑥キーワード（5個程度）

上記のうち、題目、著者名、所属機関については、日本語と英語の両方を書くこと。

2.2 要旨

「原著論文」、「事例報告（ケース・レポート）」、「研究資料」には、和文もしくは英文の要旨を付す。英文原稿の場合には、和文および英文の要旨を付す。

2.3 本文

本文は理解しやすいように章立てする。本文には、表題、著者氏名、所属、および所在地は記入しない。

2.4 図表

- （1）図表は1つずつA4用紙または原稿用紙に配置し、それぞれに通し番号を付して図1、表1などと記す。また、これにタイトルや説明文をつける
- （2）図表は提出された原図をそのままオフセット印刷するので、図表の大きさは刷り上り寸法の2倍程度で印刷するのが望ましい。
- （3）写真は図に含めるものとし、濃淡のはっきりしたものとする。
- （4）図表を原稿に挿入する個所は、本文の右側余白に図表番号によって明示する。
- （5）図表の数は、刷り上り2ページ以内を目安とする。

2.5 文献

見出し語は「文献」とする。本文中での文献引用時の記載は、原則として著者・出版年方式（author-date method）とする。文献一覧はファースト・オーサーのアルファベット順とし、下記の形式で本文の末尾にまとめて記載する。

（1）定期刊行物（雑誌）

原則として、次に示す形式で記載する。

著者名（発行年）論文名、誌名、巻（号）：始ページ－終ページ。

共著の論文について、著者名が漢字の場合には中黒（・）でつなぎ、英字の場合には and で続ける。ただし、英字で3人以上の場合にはカンマ（,）でつなぎ、最後の著者の前のみに and を入れる。発行年は西暦で記入するものとし、同一著者で同じ発行年の複数の論文を記載する場合には年号の後に a, b, c, … を付ける。雑誌名の省略方法は、原則として和文は「日本医学雑誌略名表」、欧文は「Index Medicus」に従う。

－例－

陸上太郎・跳躍二郎（2001）100km ランニング中のβエンドルフィン濃度変化. 日本陸上競技学会誌, 12 (2) : 56-61.

Lewis, C., Johnson, B., and Johnson, M. (1999) Problems of traditional sprint techniques. New Studies in Track and Field, 35(3) : 135-142.

（2）書籍

原則として、次に示す3つのいずれか当てはまる形式で記載する。書籍では、引用個所が特定できない場合には引用ページの部分を省略する。

①単行本の場合

著者名（発行年）書名（版数）．発行所：発行地，
引用ページ．

－例－

小野勝次（1963）陸上競技の力学（第7版）．同文書院：
東京，pp.76-78.

O'Brien, D. (1998) Dan O'Brien's Ultimate Workout.
Hyperion : New York, pp.3-11.

日本陸上競技連盟編（1992）陸上競技指導教本（基礎
理論編）．大修館書店：東京，pp.22-26.

②編著の一部の場合

著者名（発行年）表題．編集者名（編）書名（版数）．
発行所：発行地，引用ページ

英文の場合には，"In:"をつけたあと編集（監修）者名と"
(ed.);"もしくは"(eds.);"をつける．

－例－

尾縣貢（1990）混成競技の学習指導．関岡康雄 編
著 陸上競技の方法．同和書院：東京，pp.167-
176.

Lundberg, A. (1997) Functional Anatomy. In: Allard, P.,
Cappozzo, A., Lundberg, A., and Vaughan, C.L. (Eds.)
Three-dimensional analysis of human locomotion.
John Wiley & Sons : New York, pp.27-48.

③翻訳書の場合

著者名（発行年）書名（版数）．発行所：発行地，
引用ページ．〈英文書誌データ〉

原著者の姓をカタカナ表記し，その後にコロ（：）
をつけて訳者の姓名を記入する．訳者が3人以上の場合，
筆頭訳者のみ記入して「・・・ほか訳」と略記する．原
著の書誌データは執筆者が必要性を判断して〈 〉内に
付記する．

－例－

エッカー：澤村博監訳（1999）基礎からの陸上競技
バイオメカニクス．ベースボール・マガジン
社：東京．〈Ecker, T. (1985) Basic track & field
biomechanics. Tafnews Press : Los Altos.〉

3. 原稿の書き方

原稿は，十分推敲し，簡潔かつわかりやすいように重
点を強調して記述する．謝辞，付記などは原稿の採択決
定後に書き加えること．なお，英文の場合には，ダブル
スペースで原稿を作成する．

（１）原稿の言語

原稿は日本語を用いることを原則とするが，英語を用
いてもよい．以下，日本語を用いる場合の規定であるが，
英語を用いる場合はこれに順ずるものとする．

（２）用語・単位・記号

文章は「である調」の現代文表記とし，原則として当
用漢字・新かなづかいを用いる．文章中の外国語は原語
表記またはカタカナを用いる．

単位は国際単位系（SI）に従うものとする．量および
単位をあらわす記号は，なるべくJIS規格で制定された
ものを用い，必要があれば記号一覧表をつける．

（３）章立てと見出し

本文は，章，節，項に区切る．章の見出し番号は，1，
2，・・・，節の見出しは，1.1，1.2，・・・，項の見
出しは（1），（2），・・・とし，行の左端から書く．本文は
これと行を変えて書く．

（４）こまどり

本文は，書き出しおよび改行後の書き出し部分を1こ
まあける．また，見出し番号の次も1こまあける．句点
は「.」，読点は「，」とし，1こまを占める．

（５）脚注

脚注は，文末に一覧表としてまとめる．本文では，
右側に（注1）などをつける．

（６）文字指定

本文，数式，図，表などに記入される文字は，字体が
明確にわかるように書く．紛らわしい文字は，赤字で字
体を指定する．

大文字，小文字で紛らわしいもの（例えば，Cとc，
Kとk，Oとo），混同の恐れがあるもの（例えば，rと
γ，kとκ，wとω），その他，O（オー）と0（ゼロ），
1（エル）と1（イチ）などは，その区別を赤字で添書
きする．上付き文字，下付き文字などの文字飾りについ
ても赤字で添書きして指示する．

英字の変数は，原則としてイタリックとし，「イタ」
を○で囲んだ赤字で添書きする．その他の英字，すなわ
ち単位（kgなど），演算子（sinなど），一般用語，固
有名詞はローマンとする．

（７）数式

数式は改行して2行取りとし，上付き，下付きなどを
赤字で添書きする．分数式は，原則として， $\frac{a}{b}$ のよう
に書くが，簡単な数式などを本文中に入れる場合には，
 $(a-1)/(b+2)$ のようにして1行に書く．

4. 掲載料と別刷り

掲載料は当分の間無料とするが，特殊な印刷を必要と
したり，ページ数の超過などがある場合には，別途著者
負担額を申し受けることがある．

別刷りが必要な場合は，著者校正の際に必要な部数を申
し出る．これに要する費用は著者負担とする．

(様式1)

日本陸上競技学会誌 COI自己申告書

著者名：_____

論文題目：_____

(著者全員について、投稿時から遡って過去2年間以内での発表内容に関する企業・組織または団体とのCOI状態を記載)(本COI自己申告書は論文掲載後2年間保管されます)

項 目	該当の状況	有であれば、著者名：企業名などの記載
① 報酬額 1つの企業・団体から年間100万円以上	有・無	
② 株式の利益 1つの企業から年間100万円以上、 あるいは当該株式の5%以上保有	有・無	
③ 特許使用料 1つにつき年間100万円以上	有・無	
④ 講演料 1つの企業・団体からの年間合計50万円以上	有・無	
⑤ 原稿料 1つの企業・団体から年間合計50万円以上	有・無	
⑥ 研究費・助成金などの総額 1つの企業・団体からの研究経費を共有する所属部局（講座、分野あるいは研究室など）に支払われた年間総額が200万円以上	有・無	
⑦ 奨学（奨励）寄付などの総額 1つの企業・団体からの奨学寄付金を共有する所属部局（講座、分野あるいは研究室など）に支払われた年間総額が100万円以上	有・無	
⑧ 企業などが提供する寄付講座 (企業などからの寄付講座に所属している場合に記載)	有・無	
⑨ 旅費、贈答品などの受領 1つの企業・団体から年間5万円以上	有・無	

誓約:私の利益相反に関する状況は上記のとおりであることに相違ありません。なお、本申告書の内容は、社会的・法的な要請があった場合は、公開することを承認します。また本申告書を電磁的に本学会事務局にて保管することに承認し、電磁的に保管されたものを正本とすることに同意します。

(申告日)西暦 年 月 日

論文筆頭者(署名): _____

日本陸上競技学会 学会賞・優秀発表賞規程

本規程は、日本陸上競技学会（以下「本学会」という）が、本学会会員（以下「会員」という）のより一層の研究・実践活動を奨励し、本学会の質的向上をはかるため、会員の顕著な研究・実践活動等の業績に対し顕彰をおこなうための事項を取り決めたものである。

第1条（名称）本賞は、優れた論文・著書等に対して授与する「学会賞」および学会大会における優れた一般発表に授与する「優秀発表賞」とする。

第2条（学会賞の選考）本会に「学会賞」に関する選考委員会（以下「学会賞委員会」という）を設ける。

- 1.（学会賞委員会の設置）学会賞委員会は、会長が委嘱する編集委員長および副委員長を含む本会理事若干名をもって構成される（委員の任期は3年とし、再選は妨げない）。委員会は、互選により委員長を選出する。
- 2.（学会賞の選考基準）学会賞は、筆頭著者が会員で、原則としてその前年度に刊行された「陸上競技学会誌」に掲載された論文および学術・啓蒙的著書等を対象として、最も優れた論文・著書等に対して授与する。
- 3.（受賞対象者）受賞対象者は、筆頭著者及びその共著者すべてとする。なお、筆頭著者以外は、会員、非会員を問わない。
4. 本学会賞制定後、数年は創立年度まで遡った業績も対象とする。
- 5.（学会賞候補の推薦）会長、副会長および理事は、学会賞の候補となりうる論文・著書等一篇を推薦することができる。また、会員は、2名以上の連名により、学会賞の候補になりうる論文・著書等一篇を推薦することができる。候補論文・著書等の推薦は、毎年度第1回の理事会より大会前1ヶ月までの期間とし、会長宛に文書で提出する。

第3条（優秀発表賞の選考）本会に「優秀発表賞」に関する選考委員会（以下「発表賞委員会」という）を設ける。

- 1.（発表賞委員会の設置）発表賞委員会は、当該大会に出席している、大会会長から委嘱された理事若干名をもって構成する。なお、委員長は大会会長とする。
- 2.（優秀発表賞候補の選考基準と推薦）発表賞委員会は、当該大会における一般発表（口頭およびポ

スター発表）において優れた発表一件を、所定の様式にしたがって記名式での推薦を行うよう会員に依頼する。

- 3.（受賞対象者）受賞対象者は、満35歳未満（当該年度4月1日現在）の会員（筆頭著者）で、受賞は1人に対して原則1回とする。

第4条（受賞候補者の決定）各委員会は、推薦された論文等・著書および一般発表を参考にしながら、「学会賞」候補論文・著書等を各一篇および「優秀発表賞」候補一件を決定し、理事会に報告する（ただし「該当なし」も可）。

第5条（受賞者の決定と表彰）受賞者の最終決定は、理事会において行う。なお、表彰は、筆頭著者へのみとし、「学会賞」については総会時、「優秀発表賞」については当該大会の閉会宣言時に授与する。

第6条（受賞者の貢献）受賞者は、次のいくつかの方法により、本学会会員の相互啓発に協力することとする。

- 1) 論文等の寄稿（本学会誌に未掲載の場合）
- 2) 本学会での講演等

第7条（規程改廃）本規程の改廃は、理事会において決定する。

附則

- 1 本規定は、平成21年11月14日から施行する。

陸上競技学会誌編集委員会 委員名簿

委員長 眞鍋 芳明
委員 杉田 正明
委員 鯉川なつえ

※敬称略

編集後記

良くも悪くも「With コロナ」での新しい生活様式に慣れてきた感があります。そんな中、日本陸上競技学会第21回大会は日本体育大学世田谷キャンパスにおいて対面で開催されました。コロナ禍でオンラインやハイブリッドでの学会開催が当たり前の時代となり、どこからでも参加できるその利便性の高さは認めざるを得ません。しかし、実際に対面での学会大会に参加してみると、やはり対面でしか得られないものがあるように感じました。コロナ禍で手に入れたものと失ったものが何だったのか、改めて考えさせられる機会となりました。

陸上競技研究の発展に大きく貢献されている小林寛道先生、阿江通良先生の基調講演では、1991年東京世界陸上を機に、陸上競技の科学が大きく発展したことがクローズアップされました。特に、その時の研究（著

書や論文）と人脈が現在にも活かされているとのことでした。2025年には再び東京の地に世界陸上が戻ってきます。世界中のアスリートのみならず研究者も注目する大会になることでしょう。日々進化を遂げるアスリートのパフォーマンスに置いて行かれぬよう、研究の分野でも1991年大会以上の大きな成果を残す必要があります。そのためには、アスリート同様に研究者も様々な準備が必要です。その一つが、学会員の皆様の研究活動であることは間違いありません。

本学会誌では、原著論文2編、研究資料1編、事例報告4編、陸上競技 Round-up1編が掲載されました。今後も学会員の皆様には、更なる実践と研究の架け橋となる論文投稿をお待ちしております。

（編集委員長 眞鍋芳明）

陸上競技学会誌 第21巻（Vol.21, 2023）

2023年3月31日発行

発行人 澤村 博

編集人 青山清英

発行所 日本陸上競技学会

〒150-8366 東京都渋谷区渋谷4-4-25

青山学院大学教育人間科学部

小木曽研究室内

日本陸上競技学会事務局

TEL：03-3409-8579

E-Mail: info@jsa-web.com

製作 株式会社 文成印刷

印刷 株式会社 文成印刷